

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT

POUR

L'INDUSTRIE NATIONALE

PUBLIÉ

SOUS LA DIRECTION DES SECRÉTAIRES DE LA SOCIÉTÉ

MM. H. HITIER & P. TOULON

1921

Pour faire partie de la Société, il faut être présenté par un membre et être nommé par le Conseil d'Administration.

(Extrait du Règlement.)

PARIS

SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ, 44, RUE DE RENNES (6e ARR.)

—

1921

SECRÉTARIAT DE LA SOCIÉTÉ

ET

RÉDACTION DU BULLETIN

Communications, dépôts, renseignements, abonnements au *Bulletin*, annonces,
de 14 h. à 16 h.

120e ANNÉE. JANVIER 1921

BULLETIN

DE

LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT

POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

CONSEIL D'ADMINISTRATION

LISTE DES MEMBRES TITULAIRES ET HONORAIRES DU CONSEIL D'ADMINISTRATION ET DES MEMBRES CORRESPONDANTS POUR L'ANNÉE 1921

MEMBRES TITULAIRES

Bureau.

Année de l'entrée au Conseil.

Président.

1900. — Baclé (O. ✻), Ingénieur civil des Mines, 57, rue de Châteaudun (9e arrt).

Vice-présidents.

1901. — Rateau (✻), membre de l'Institut, ancien Ingénieur au Corps des Mines, 10 *bis*, avenue Élisée-Reclus (7e arrt).

1887. — Carpentier (C. ✻), membre de l'Institut, ingénieur-constructeur, 34, rue Guynemer (6e arrt).

1907. — Mesnager (O. ✻), membre de l'Institut, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 182, rue de Rivoli (1er arrt).

1899. — Raphaël-Georges Lévy (O. ✻), sénateur, membre de l'Institut, 3, rue de Noisiel (16e arrt).

Secrétaires.

1901. — Hitier (Henri) (✻), Ingénieur-agronome, membre de l'Académie d'Agriculture, professeur à l'Institut national agronomique, 6, rue du Général-Foy (8e arrt).

1900. — Toulon (Paul) (✻), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Ingénieur en chef honoraire des Chemins de fer de l'État, 106 *bis*, rue de Rennes (6e arrt).

Année de l'entrée au Conseil.

Trésorier.

1906. — Alby (✻), ancien Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 55, boulevard Lannes (16e arrt).

Censeurs.

1884. — Bordet (✻), ancien Inspecteur des Finances, administrateur de la Compagnie de Châtillon, Commentry et Neuves-Maisons, 181, boulevard Saint-Germain (7e arrt).

1866. — Tisserand (Eugène) (G. C. ✻), membre de l'Institut et de l'Académie d'Agriculture, directeur honoraire de l'Agriculture, Conseiller Maître honoraire à la Cour des Comptes, 17, rue du Cirque (8e arrt).

Commission des Fonds.

1884. — Bordet (✻), ancien Inspecteur des Finances, administrateur de la Compagnie de Châtillon, Commentry et Neuves-Maisons, *Président*, boulevard Saint-Germain, 181 (7e arrt).

1876. — Pereire (Henry), Ingénieur des Arts et Manufactures, vice-président de la Compagnie des Chemins de fer du Midi, boulevard de Courcelles, 33 (8e arrt).

1888. — Fouret (O. ✻), ancien examinateur d'admission à l'École polytechnique, avenue Carnot, 4 (17e arrt).

1891. — d'Eichthal (Eugène), membre de l'Institut, vice-président de la Compagnie des Chemins de fer du Midi, directeur de l'École des Sciences politiques, boulevard Malesherbes, 144 (17e arrt).

1892. — Heurteau (O. ✻), Ingénieur en chef des Mines, directeur honoraire de la Compagnie du Chemin de fer d'Orléans, rue de Clichy, 17 (9e arrt).

1900. — Lavollée (J.) (✻), avocat à la Cour d'Appel, 88, boulevard Malesherbes (8e arrt).

1903. — Lafosse (H.) (O. ✻), Inspecteur général des Eaux et Forêts, 61, rue de Vaugirard (6e arrt).

1906. — Alby (✻), ancien Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 55, boulevard Lannes (16e arrt).

1908. — Biver (Comte), Ingénieur des Arts et Manufactures, 14, rue de Prony (17e arrt).

N...

Comité des Arts mécaniques.

1905. — Bertin (C. ✻), membre de l'Institut, *Président*, 8, rue Garancière (6e arrt).

1891. — Sauvage (O. ✻), Inspecteur général des Mines, professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers, rue Eugène-Flachat, 14 (17e arrt).

1897. — Barbet (✻), ingénieur, 47, rue de Liége, Paris (8e arrt).

Année de l'entrée au Conseil.

1897. — Diligeon (✻), Ingénieur des Arts et Manufactures, conseiller du Commerce extérieur, 23 *bis*, avenue Niel (17e arrt).

1898. — Masson (L.) (O. ✻) Ingénieur civil, directeur en congé hors cadre du Conservatoire des Arts et Métiers, 22, rue Alphonse-de-Neuville (17e arrt).

1900. — Walckenaer (O. ✻), Inspecteur général des Mines, 218, boulevard Saint-Germain (7e arrt).

1901. — Rateau (✻), membre de l'Institut, ancien ingénieur au Corps des Mines, 10 *bis*, avenue Élisée-Reclus (7e arrt).

1906. — Lecornu (O. ✻), membre de l'Institut, Inspecteur général des Mines, professeur à l'Ecole polytechnique, 3, rue Gay-Lussac (5e arrt).

1911. — Leblanc (Maurice) (✻), membre de l'Institut, ingénieur, 1, boulevard Montmorency (16e arrt).

1912. — Brocq (François), ingénieur, directeur de la Compagnie des Compteurs, 16, boulevard de Vaugirard (15e arrt).

1913. — Terré (Maurice) (O. ✻), Ingénieur en chef de la Marine en retraite, 139, boulevard Haussmann (8e arrt).

1913. — Dantzer (James) (✻), ingénieur, professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers, 17, avenue Sainte-Foy, à Neuilly-sur-Seine (Seine).

1914. — Salomon (Louis) (O. ✻), ancien président de la Société des Ingénieurs civils de France, Ingénieur en chef honoraire du Matériel et de la Traction des Chemins de fer de l'Est, 175, rue du Faubourg-Poissonnière, Paris (9e arrt).

1916. — de Fréminville (Charles), Ingénieur des Arts et Manufactures, 18, rue Pierre-Curie (5e arrt).

1917. — Arbel (Pierre) (C. ✻), administrateur de la Société des Forges de Douai, 103, avenue Henri-Martin (16e arrt).

1918. — Guillery, ingénieur, directeur des Établissements Malicet et Blinl 111, rue de Flandre (19e arrt).

Comité des Arts chimiques.

1885. — Le Chatelier (Henry) (C. ✻), membre de l'Institut, Inspecteur général des Mines, professeur à la Faculté des Sciences, *Président*, rue Notre-Dame-des-Champs, 75 (6e arrt).

1877. — Bérard (P.) (O. ✻), membre du Comité consultatif des Arts et Manufactures, rue Casimir-Delavigne, 2 (6e arrt).

1885. — Appert (Léon) (O. ✻), ingénieur-manufacturier, 148, boulevard Haussmann (8e arrt).

1898. — Livache, Ingénieur civil des Mines, 24, rue de Grenelle (7e arrt).

1900. — Baclé (O. ✻), Ingénieur civil des Mines, 57, rue de Châteaudun (9e arrt).

1903. — Haller (G. O. ✻), membre de l'Institut et de l'Académie d'Agriculture, professeur à la Faculté des Sciences, 10, rue Vauquelin (5e arrt).

Année de l'entrée au Conseil.

1905. — PRUD'HOMME (✻), chimiste, ancien élève de l'École polytechnique, 78, avenue de la Grande-Armée (17e arrt).

1907. — GUILLET (O. ✻), ingénieur, professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers et à l'École centrale des Arts et Manufactures, 8, avenue des Ternes (17e arrt).

1908. — BERTRAND (Gabriel) (✻), professeur à la Faculté des Sciences et à l'Institut Pasteur, 61, boulevard des Invalides (7e arrt).

1911. — TRILLAT (A.) (O. ✻), chef de laboratoire à l'Institut Pasteur, 25, rue Dutot (15e arrt).

1912. — DELLOYE (Lucien) (✻), directeur général des Glaceries de la Cie de Saint-Gobain, 1, place des Saussaies (8e arrt).

1913. — LŒBNITZ (J.) (O. ✻), fabricant de faïences artistiques, 4, rue Pierre-Levée (11e arrt).

1914. — GALL (Henry) (✻), ancien président de la Société des Ingénieurs civils de France, administrateur délégué de la Société d'Électro-chimie, président de la Société des Carbures métalliques, 2, rue Blanche (9e arrt).

1915. — PAGÈS (Albert) (✻), ancien président du Syndicat général des Produits chimiques, 34, boulevard Henri-IV (4e arrt).

1917. — CHESNEAU (Gabriel) (O. ✻), Inspecteur général des Mines, directeur de l'Ecole nationale supérieure des Mines, 60, boulevard Saint-Michel (6e).

Comité des Arts économiques.

1876. — SEBERT (Général H.) (C. ✻), membre de l'Institut, *Président*, rue Brémontier, 14 (17e arrt).

1887. — CARPENTIER (C. ✻), membre de l'Institut, ingénieur-constructeur, 34, rue Guynemer (6e arrt).

1897. — LYON (O. ✻), directeur de la fabrique de pianos Pleyel, Lyon et Cie, 22, rue Rochechouart (9e arrt).

1900. — TOULON (Paul) (✻), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, Ingénieur en chef honoraire des Chemins de fer de l'État, 106 *bis*, rue de Rennes (6e arrt).

1902. — HILLAIRET (✻), ingénieur-constructeur, 22, rue Vicq-d'Azyr (10e arrt).

1907. — BERTHELOT (Daniel), membre de l'Institut, 168, boulevard Saint-Germain (6e arrt).

1908. — ARMENGAUD jeune (✻), ancien élève de l'École polytechnique, 23, boulevard de Strasbourg (10e arrt).

1909. — BORDAS (Dr F.) (C. ✻), professeur suppléant au Collège de France, 58, rue Notre-Dame-des-Champs (6e arrt).

1909. — RENARD (Paul) (O. ✻), lieutenant-colonel du Génie territorial, 1, avenue de l'Observatoire (6e arrt).

1910. — MARRE (O. ✻), ingénieur-mécanicien, 72, boulevard de Courcelles (17e arrt).

Année de l'entrée au Conseil.

1910. — Féry, professeur à l'École municipale de Physique et de Chimie, 28, rue de l'Arbalète (5e arrt).

1915. — Arnould (Pierre) (O. ✻), ingénieur-conseil, commissaire expert du Gouvernement pour l'examen des contestations en douane, 31, rue Bonaparte (6e arrt).

1916. — Legouez (Raynald) (O. ✻), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 25, rue Molitor (16e arrt).

1917. — Zetter (Charles) (✻), Ingénieur des Arts et Manufactures, 16, rue Montgolfier (3e arrt).

1919. — Delage (✻), lieutenant de vaisseau, directeur de la Société Nieuport, 46, boulevard Gallieni, à Issy-les-Moulineaux (Seine).

1919. — Rey (Jean) (✻), Ingénieur civil des Mines, associé gérant de la maison Sautter-Harlé et Cie, 26, avenue de Suffren (15e arrt).

Comité d'Agriculture.

1866. — Tisserand (Eug.) (G. C. ✻), membre de l'Institut et de l'Académie d'Agriculture, directeur honoraire de l'Agriculture, Conseiller Maître honoraire à la Cour des Comptes, *Président*, rue du Cirque, 17 (8e arrt).

1893. — Daubrée (L.) (C. ✻), ancien Conseiller d'État, membre de l'Académie d'Agriculture, Directeur général honoraire des Eaux et Forêts, 26, avenue Duquesne (7e arrt).

1896. — Lindet (O. ✻), membre de l'Institut et de l'Académie d'Agriculture, professeur à l'Institut national agronomique, 108, boulevard Saint-Germain (6e arrt).

1901. — Ringelmann (O. ✻), Ingénieur-agronome, membre de l'Académie d'Agriculture, directeur de la Station d'Essais de Machines, 2, avenue de Saint-Mandé (12e arrt).

1901. — Hitier (Henri), (✻), Ingénieur-agronome, membre de l'Académie d'Agriculture, professeur à l'Institut national agronomique, 6, rue du Général-Foy (8e arrt).

1905. — Schribaux (E.) (O. ✻), Ingénieur-agronome, membre de l'Académie d'Agriculture, professeur à l'Institut national agronomique, 140, rue de Rennes (6e arrt).

1905. — Dybowski (O. ✻), Inspecteur général de l'Agriculture coloniale, membre de l'Académie d'Agriculture, 4, rue de Fontenay, à Nogent-sur-Marne (Seine).

1906. — Girard (A.-Ch.) (O. ✻), Ingénieur-agronome, membre de l'Académie d'Agriculture, professeur à l'Institut national agronomique, 60, rue Madame (6e arrt).

1906. — Wery (Georges) (O. ✻), Ingénieur-agronome, membre de l'Académie d'Agriculture, directeur de l'Institut national agronomique, 6, rue Joseph-Bara (6e arrt).

1907. — Dabat (G. O. ✻), conseiller d'État, membre de l'Académie d'Agriculture, directeur général des Eaux et Forêts, 48, boulevard Latour-Maubourg (7e arrt).

Année de l'entrée au Conseil.

1915. — PLUCHET (Émile) (✱), président de la Société des Agriculteurs de France, membre de l'Académie d'Agriculture, régent de la Banque de France, 5, rue d'Estrées (7e arrt).

1916. — VIALA (Pierre) (O. ✱), député, membre de l'Institut et de l'Académie d'Agriculture, professeur à l'Institut national agronomique, Inspecteur général de la Viticulture, 35, boulevard Saint-Michel (5e arrt).

1917. — HITIER (Joseph), professeur à la Faculté de Droit et à l'Institut national agronomique, 19, rue Servandoni (6e arrt).

1917. — MANGIN (Louis) (O. ✱), membre de l'Institut et de l'Académie d'Agriculture, directeur du Muséum national d'Histoire naturelle, 57, rue Cuvier (5e arrt).

1917. — MOUSSU (✱), membre de l'Académie d'Agriculture, professeur à l'École vétérinaire d'Alfort, à Alfort (Seine).

N...

Comité des Constructions et Beaux-Arts.

1899. — LARIVIÈRE (Pierre) (✱), Ingénieur civil des Mines, *Président*, 164, quai Jemmapes (10e arrt).

1895. — BELIN (H.) (O. ✱), imprimeur-éditeur, 52, rue de Vaugirard (6e arrt).

1898. — BONAPARTE (Prince Roland), membre de l'Institut, 10, avenue d'Iéna (16e arrt).

1903. — MAES (Georges) (✱), manufacturier, 45, rue de Courcelles (8e arrt).

1903. — MOREAU (Auguste) (✱), Ingénieur des Arts et Manufactures, 49, rue des Batignolles (17e arrt).

1907. — MESNAGER (A.) (O. ✱), membre de l'Institut, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 182, rue de Rivoli (1er arrt).

1908. — HERSENT (Georges) (✱), Ingénieur des Arts et Manufactures, 60, rue de Londres (8e arrt).

1908. — BOURDEL (Joseph) (O. ✱), imprimeur-éditeur, ancien juge au Tribunal de Commerce, 10, rue Garancière (6e arrt).

1908. — D'ALLEMAGNE (Henri) (✱), archiviste-paléographe, bibliothécaire honoraire de l'Arsenal, 30, rue des Mathurins (8e arrt).

1911. — BERTRAND DE FONTVIOLANT (✱), professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, 167, avenue de Wagram (17e arrt).

1913. — HACHETTE (André), secrétaire de la Société française de Photographie, 4, rue Bayard (8e arrt).

1915. — ESPITALLIER (O. ✱), lieutenant-colonel, ancien professeur de constructions à l'École d'application de l'Artillerie et du Génie, 73, rue du Cardinal-Lemoine (5e arrt).

1915. — BODIN (O. ✱), ingénieur, professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures, 50, rue Saint-Ferdinand (17e arrt).

1916. — TAILLEFER (André) (✱), ancien élève de l'École polytechnique, docteur en droit, avocat à la Cour de Paris, secrétaire de l'Asso-

Année de l'entrée au Conseil.

ciation française pour la Protection industrielle, 215 *bis*, boulevard Saint-Germain (7e arrt).

1919. — MAGNE (Marcel), professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers, 34, quai de Béthune (4e arrt).

1919. — BECHMANN (Georges) (C. ✻), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, en retraite, 52, avenue Victor-Hugo (16e arrt).

Comité de Commerce.

1892. — GRUNER (E.) (O. ✻), Ingénieur civil des Mines, vice-président du Comité central des Houillères de France, ancien président de la Société des Ingénieurs civils de France, *Président*, 60, rue des Saints-Pères (7e arrt).

1897. — PAULET (G.) (C. ✻), ancien conseiller d'État, administrateur du Crédit Foncier de France, 47, boulevard Suchet (16e arrt).

1897. — DUPUIS (✻), Ingénieur civil des Mines, 18, avenue Jules-Janin (16e arrt).

1899. — LÉVY (Raphaël-Georges) (O. ✻), sénateur, membre de l'Institut, 3, rue de Noisiel (16e arrt).

1910. — ALFASSA (Maurice), Ingénieur civil des Mines, 15, rue Soufflot (5e arrt).

1910. — RISLER (Georges) (C. ✻), président de l'Union des Sociétés de Crédit immobilier de France et d'Algérie, président de la Société centrale de Crédit immobilier et de la Société des Habitations ouvrières de Passy-Auteuil, membre du Comité permanent du Conseil supérieur des Habitations à bon marché, 115, avenue des Champs-Elysées (8e arrt).

1911. — CARMICHAEL (Robert S.) (O. ✻), filateur et tisseur de jute, 4, rue Saint-Florentin (1er arrt).

1913. — ROY (Ferdinand) (O. ✻), négociant, membre du Comité consultatif des Arts et Manufactures, 24, place Malesherbes (17e arrt).

1913. — RICHEMOND (Pierre) (O. ✻), ingénieur-constructeur, 52, route d'Aubervilliers, à Pantin (Seine).

1915. — DE ROUSIERS (Paul) (✻), professeur à l'École des Sciences politiques, 19, rue de Bourgogne (7e arrt).

Commission du Bulletin.

HITIER, TOULON, *secrétaires*; LAFOSSE, FOURET, SAUVAGE, MASSON, PRUD'HOMME, LIVACHE, SEBERT, ARNOULD, LINDET, RINGELMANN, LARIVIÈRE, BOURDEL, DE ROUSIERS, DUPUIS.

Agent général de la Société.

LEMAIRE (Eugène), Ingénieur des Arts et Manufactures, 44, rue de Rennes (6e arrt). — Téléphone : Saxe. 29.75.

Année de l'entrée au Conseil.

MEMBRES HONORAIRES DU CONSEIL

Présidents honoraires de la Société.

1866. — Tisserand (Eugène) (G. C. ✻), membre de l'Institut.
1869. — Haton de la Goupillière (G. C. ✻), membre de l'Institut, président honoraire de la Société et du Comité des Arts mécaniques, 56, rue de Vaugirard (6e arrt).

Comité des Arts mécaniques.

1895. — Bourdon (Édouard) (O. ✻), constructeur-mécanicien, rue du Faubourg-du-Temple, 74 (11e arrt).

Comité des Arts chimiques.

1889. — Vieille (G. O. ✻), membre de l'Institut, 16, avenue Pierre Ier-de-Serbie (16e arrt).

Comité des Arts économiques.

1883. — Bardy (O. ✻), directeur honoraire du Service scientifique des Contributions indirectes, 32, rue du Général-Foy (8e arrt).
1893. — Violle (C. ✻), membre de l'Institut, professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers, 89, boulevard Saint-Michel (7e arrt).
1903. — Perot (✻), professeur à l'École polytechnique, 16, avenue Bugeaud (16e arrt).

MEMBRES CORRESPONDANTS

Comité des Arts mécaniques.

Correspondants français.

Leflaive, anciens Établissements Biétrix, Leflaive et Cie, à Saint-Étienne (Loire).
1913. — Schubert (Adrien), Ingénieur des Arts et Manufactures, Paris.
1919. — Bouchayer (Auguste), industriel, à Grenoble.

Comité des Arts chimiques.

Correspondants français.

1909. — Charpy (Georges), membre de l'Institut, Paris.
1919. — Jossier (Gabriel), président de la Chambre syndicale des Cuirs et Peaux de Paris, Paris.

Année de l'entrée au Conseil.

1919. — Boyoud (Émile), Ingénieur des Arts et Manufactures, Paris.
1919. — Michelin (André), ingénieur, Paris.
1919. — Scheurer (A.), secrétaire-président du Comité de Chimie de la Société industrielle de Mulhouse, Bitschwiller-Thann (Haut-Rhin).
1919. — Zuber, industriel, à Rixheim (Haut-Rhin).

Correspondants étrangers.

Solvay, fabricant de produits chimiques, à Bruxelles.
Hadfield (Sir Robert), directeur des Usines Hecla, à Londres (Angleterre).
Howe (Henry M.), professeur de métallurgie, à Bedford Station (U. S. A.).
1914. — Nichols (W. H.), docteur de la Columbia University, président du conseil d'administration de la « General chemical Company » et de la « Nichols Copper Company », à New York (U. S. A.).

Comité des Arts économiques.

Correspondants français.

Loreau, manufacturier, à Briare.
1919. — Chauveau (Dr Claude), sénateur, Paris.
1919. — de Férol (Jean-Emile), administrateur de la Société française d'incandescence par le gaz, Paris.
1919. — Lebeuf (Auguste), directeur de l'Observatoire de Besançon, à Besançon.
1919. — Visseaux (Jacques), industriel, à Lyon.

Correspondants étrangers.

Elihu-Thomson, électricien en chef de la Société Thomson-Houston, à Lynn, Mass. (Etats-Unis).
1913. — Guillaume, directeur du Bureau international des Poids et Mesures, à Sèvres (Seine-et-Oise).
1914. — Kamerlingh Onnes (Heike), membre correspondant de l'Académie des Sciences de Paris, professeur à l'Université et directeur du Laboratoire cryogénique de Leyde (Pays-Bas).
1919. — Empain (général baron), Bruxelles (Belgique).
1920. — Tzitzeica (Georges), membre de l'Académie roumaine, président de la Société des Sciences de Roumanie, doyen de la Faculté des Sciences de Bucarest (Roumanie).
1920. — Torres y Quevedo, membre de l'Académie royale des Sciences de Madrid, directeur du Laboratario de Automatica de Madrid, membre correspondant de l'Institut de France.

Année de l'entrée au Conseil.

Comité d'Agriculture.

Correspondants français.

MILLIAU (Ernest), chimiste, à Marseille.
1891. — BRIOT, conservateur des Eaux et Forêts, en retraite, à Chambéry.
1907. — DE MONICAULT (Pierre), Ingénieur-agronome, Paris.
1919. — CHERVIN (Pierre), administrateur du Jardin d'Essai du Hamma et stations annexes, Alger.
1919. — FAUCON (Paul), membre du Conseil supérieur de l'Agriculture et du Conseil supérieur de la Navigation maritime, Paris.
1919. — GIRARD (Henry), agriculteur, Plailly (Oise).
1919. — GOUIN (André), membre de l'Académie d'Agriculture de France, Haute-Goulaine (Loire-Inférieure).
1919. — HÉLOT, fabricant de sucre, Noyelles-sur-Escaut (Nord).
1919. — MENNESSON (Constantin), agriculteur et distillateur, Paris.
1919. — POTIN (Julien), industriel, Neuilly-Saint-James (Seine).
1919. — SIMON, constructeur-mécanicien, Cherbourg (Manche).

Comité des Constructions et Beaux-Arts.

Correspondants français.

1913. — COUTURAUD (Pierre), Ingénieur des Arts et Manufactures, Paris.
1919. — ARNODIN (F.), ingénieur-constructeur de ponts suspendus et transbordeurs, Châteauneuf-sur-Loire (Loiret).
1919. — LUMIÈRE (Louis) (C. ✻), membre de l'Institut, industriel, à Lyon.

Comité de Commerce.

Correspondants français.

WALBAUM, président de la Chambre de Commerce de Reims.
1913. — THILLAYE (Georges), agent général de la Caisse d'Épargne et de Prévoyance de Paris.
1919. — ISAAC (Auguste), président honoraire de la Chambre de Commerce de Lyon, à Lyon.
1919. — DE LACROIX (Camille), manufacturier, à Mulhouse.

Correspondant étranger.

1890. — DE HEMPTINNE (Comte Paul), château de Maltebrugge-lez-Gand, à Gand.

COMITÉ DES ARTS MÉCANIQUES

Rapport présenté par M. Léon Masson, au nom du Comité des Arts mécaniques, sur un *dispositif de* M. H. Vollet *pour machine à couper et égaliser les balais et les brosses.*

Messieurs,

M. H. Vollet, mécanicien au Conservatoire national des Arts et Métiers, demeurant 33, boulevard Victor-Hugo à Clichy-sur-Seine, a présenté à l'examen de la Société d'Encouragement un système de machine imaginé par lui en vue du travail de coupe et d'égalisation de brosses et balais, et pour lequel il a obtenu en France un brevet d'invention et un certificat d'addition portant les dates respectives des 7 juillet 1917 et 4 juillet 1918.

Ce système comporte tout d'abord (voir Planche A et figures C et D) un bâti *a* soutenant deux portées à billes, *b*, qui servent à guider un porte-couteaux E, dont les lames, telles que *i*, au nombre de quatre, sont disposées obliquement et se déplacent circulairement à l'aide de poulies fixe et folle, *f*, *f*, devant une lame fixe horizontale réglable en hauteur, *c*, *d*, *g*, *i*, de manière à pouvoir racheter l'usure des couteaux.

Les couteaux mobiles agissent ainsi par rapport à la lame fixe comme de véritables ciseaux, susceptibles de procéder aisément à la coupe des brosses et balais de diverse nature.

Un guidage spécial (voir Planche B et figures C et D) adapté sur un support *a* faisant corps avec le bâti de la machine, comporte un coulisseau *b*, commandé par boutons molettés actionnant une crémaillère, et qui permet le réglage en hauteur de l'ensemble du système.

Le bouton moletté du côté gauche sert à la manœuvre de déplacement dudit coulisseau, et celui de droite à son maintien, par serrage, à une hauteur déterminée.

Une traverse à rainure, *c*, placée à la partie supérieure du coulisseau

facilite le déplacement, dans le sens horizontal, de deux supports dont la fixation à demande se fait à l'aide d'écrous à oreilles, *d*, et selon la largeur des brosses à travailler.

En haut de ces supports mêmes sont disposées à demeure deux

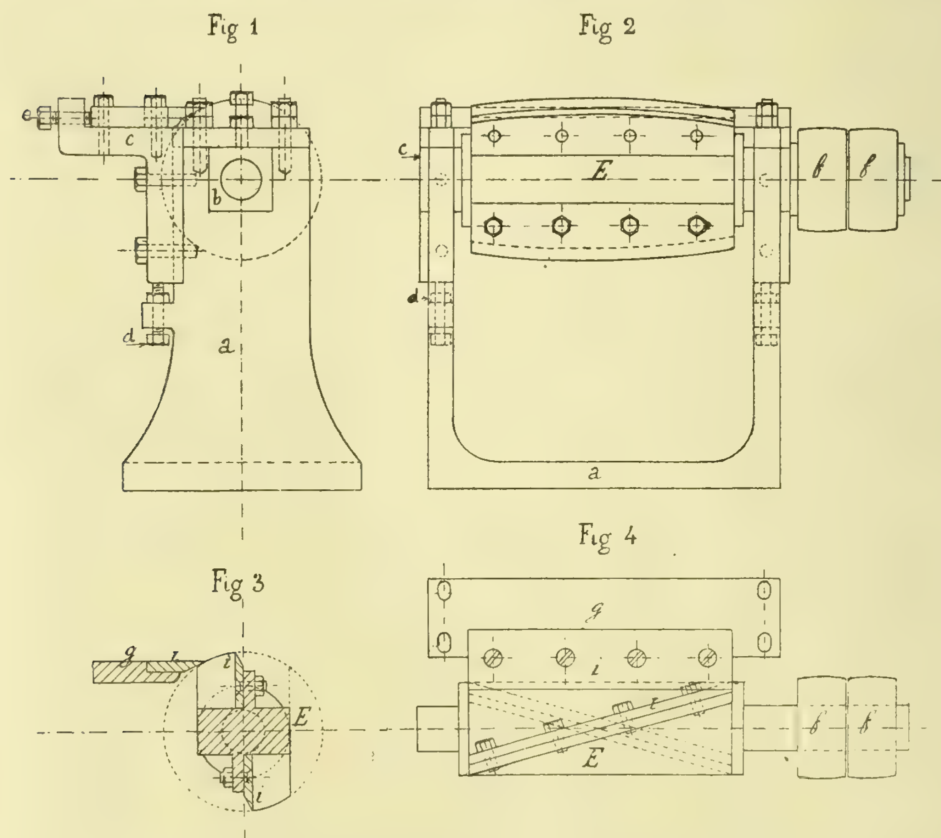


Planche A. — Fac-similé de la planche de dessins annexée à la demande de brevet d'invention de M. H. Vollet, en date du 7 juillet 1917.

Fig. 1. — Profil de la machine telle qu'elle est montée sur son bâti.
Fig. 2. — Vue de face indiquant que les lames mobiles de la machine ont une partie coupante légèrement bombée suivant le profil des brosses à obtenir.
Fig. 3. — Coupe par le milieu des lames.
Fig. 4. — Vue en plan des couteaux.

réglettes à angle vif, *r*, servant au guidage facile des bois des balais ou des brosses dont la machine doit assurer la coupe.

Sur chacun des supports sont fixées, par écrous à oreille également, *g*, deux réglettes *e* et *f*, déplaçables suivant les besoins du travail et dont, selon la hauteur des brosses à couper, l'une ou l'autre paire peuvent être retirées de la machine.

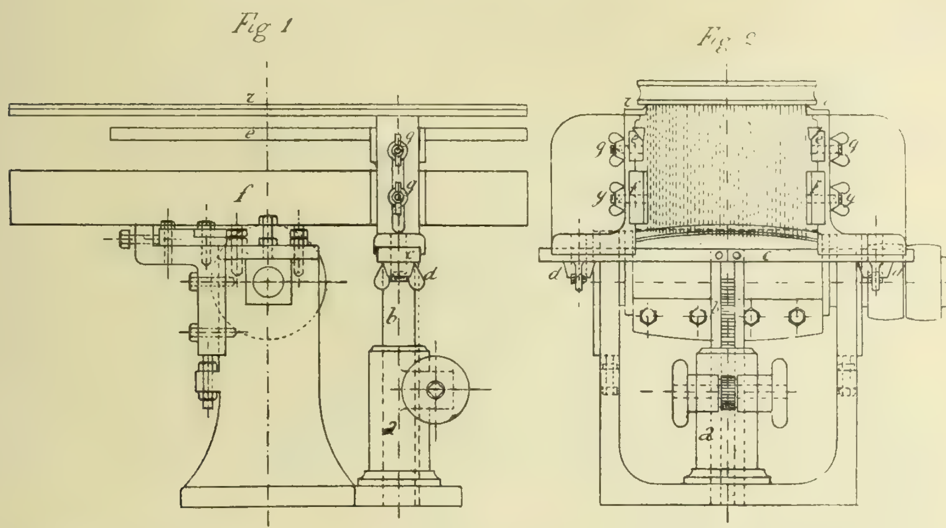


Planche B. — Fac-similé de la planche de dessins annexée à la demande d'addition, en date du 4 juillet 1918, au brevet d'invention pris le 7 juillet précédent par M. H. Vollet.

Fig. 1. — Vue de profil du dispositif de guidage des brosses à travailler.
Fig. 2. — Vue en bout de ce dispositif, avec la brosse à égaliser.

Le but de ces réglettes est d'empêcher, pendant la coupe, l'écarte-

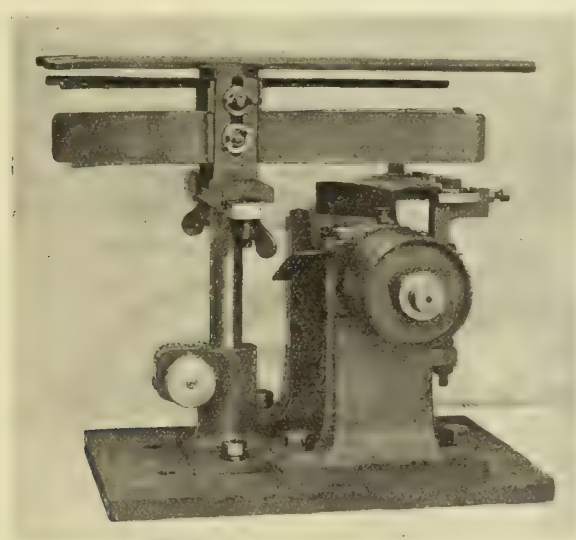


Fig. C. — Vue perspective des dispositions de la machine de M. H. Vollet.
La machine sans ses protecteurs : vue d'ensemble.

ment des poils qui se trouvent sur le côté des brosses ou des balais, et de donner par suite une parfaite régularité de travail.

Pour obtenir des brosses bombées on a recours à un calage additionnel

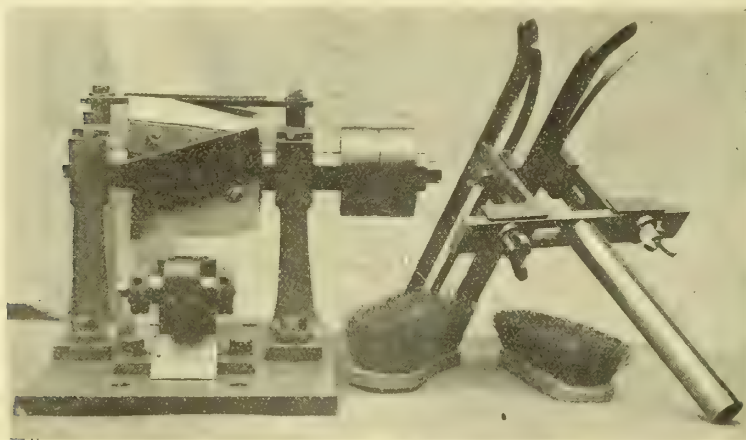


Fig. D. — Vue perspective des dispositions de la machine de M. H. Vollet. La machine sans ses protecteurs : dispositif montrant séparément le montage des couteaux et le système de guidage des brosses à travailler.

entre la traverse ci-dessus décrite, *c*, et l'un des supports dont elle guide le déplacement.

Dans tous les cas enfin (voir figures E et F), une disposition de volets à charnière et de protecteurs appropriés reposant sur les côtés des guides le long desquels on fait glisser les bois des brosses en cours de coupe empêche l'accès des mains aux parties tranchantes de l'appareil, et c'est ainsi que, sans risque d'accidents, la machine peut être confiée à un ouvrier aveugle qui s'accoutumera promptement à faire à son aide un travail analogue à celui qu'effectuerait un voyant.

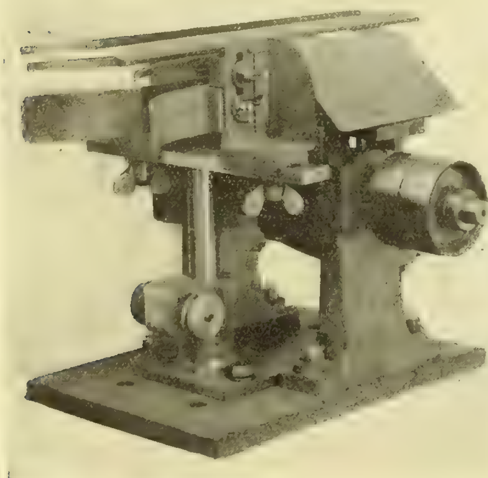


Fig. E. — Vue perspective de la machine de M. H. Vollet. Ensemble de la machine munie de ses protecteurs.

La construction simple et robuste de la machine « rapide-coupe » de M. H. Vollet, son poids réduit, son faible encombrement,

son grand débit, et l'économie de main-d'œuvre résultant de son emploi, sont autant de motifs qui permettent d'affirmer qu'il s'agit là d'un dispositif pouvant rendre d'excellents services dans les fabriques de brosseries et de balais, et susceptible en outre d'être confié très pratiquement à des ouvriers aveugles ou bien, moyennant un facile apprentissage, à des malheureux chez lesquels la perte de la vue provient de blessure de guerre ou d'accident.

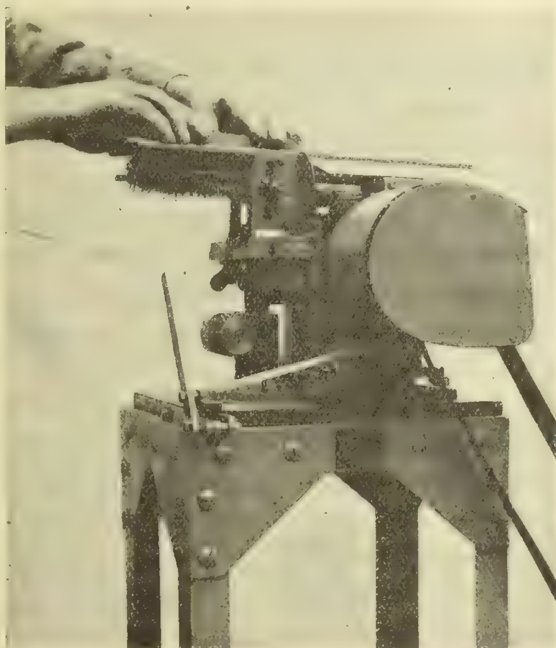


Fig. F. — Vue perspective de la machine de M. H. Vollet. La machine en marche : vue d'ensemble.

Dans ces conditions, Messieurs, votre Comité des Arts mécaniques a émis, lors de sa séance du mois de juillet dernier, l'avis qu'il convient de retenir le dispositif de M. H. Vollet au nombre de ceux que notre Société a décidé en principe de récompenser par des subventions ou par des prix comme propres à faciliter l'emploi des mutilés de la guerre dans les travaux de l'agriculture et dans les ateliers de l'industrie. J'ai l'honneur de vous le proposer en son nom, et de vous demander en outre, d'accord avec mes Collègues, de remercier ce même inventeur de son intéressante communication en ordonnant l'insertion au *Bulletin* du présent rapport avec les diverses figures qui l'accompagnent.

Le Rapporteur,
LÉON MASSON.

Lu et approuvé en séance publique, le samedi 13 novembre 1920.

COMITÉ DES CONSTRUCTIONS ET BEAUX-ARTS

Rapport présenté par le Lieutenant-Colonel Espitallier, au nom du Comité des Constructions et Beaux-Arts, sur une *Machine de* M. Jaussaud, *destinée au pilonnage des agglomérés de béton.*

M. L. Jaussaud, Ingénieur des Arts et Métiers, 8 *bis*, rue Campagne-Première, à Paris (14e) a présenté à l'examen de la Société d'Encouragement les plans et un modèle d'une machine de son invention destinée au pilonnage des agglomérés de béton.

Dans la fabrication des agglomérés, qu'il s'agisse de béton de mâchefer ou de béton de gravier, le pilonnage se fait le plus souvent à la main. Lorsqu'on y utilise des pilettes électriques ou à l'air comprimé, c'est encore fréquemment l'ouvrier qui tient la pilette et la déplace sur la surface à comprimer.

On a imaginé cependant des machines dans lesquelles tout le travail est exécuté mécaniquement. Celle que M. Jaussaud a combinée a pour but non seulement de réaliser ces opérations par des moyens mécaniques, mais encore de réduire l'intervention du personnel ouvrier au strict minimum, tout en diminuant la durée du travail et en rendant celui-ci plus régulier.

En dehors d'un bâti général qui, pour le moment, est en bois, cet appareil comporte trois séries d'organes essentiels : les distributeurs de béton, le chariot imprimant une translation en va-et-vient au coffre de moulage et enfin le pilon.

En réalité, il y a deux distributeurs, placés de part et d'autre du système et alimentant le remplissage sur à peu près la moitié de la course, comptée à partir de chaque extrémité du moule.

Chaque distributeur est composé : d'une trémie-magasin où le béton est versé en vrac. Cette trémie, en tronc de pyramide, porte à sa partie inférieure une ouverture étroite par où le béton peut s'écouler. Cette ouverture est masquée par la périphérie d'un cylindre tournant qui

porte à son tour, sur une partie de sa circonférence, des godets hémi-cylindriques. Chaque godet se remplit de béton au passage, et le déverse ensuite par une goulotte qui le dépose dans le moule en couche mince et régulière. Le mouvement de translation présente successivement tous les points de cette nappe au choc du pilon.

On conçoit d'ailleurs que l'alimentation doit être interrompue sur une partie du parcours, lorsque l'orifice de la goulotte se trouve en dehors du moule ; les godets n'occupent donc pas toute la circonférence du cylindre qui présente un secteur lisse assurant l'obturation pendant la phase correspondante.

Le pilon est en fonte avec une tige en bois coulissant dans un guidage approprié. Cette tige passe elle-même entre deux cames tournantes qui, par frottement, déterminent le relevage et abandonnent la masse chutante en haut de sa course. Pour que ce frottement soit suffisamment doux, la tige du pilon porte, dans sa longueur, une fente dans laquelle est placée une feuille de caoutchouc interposée. L'ensemble du pilon et de sa tige pèse 25 kg. La hauteur de chute est de 0,2 m. Les dimensions générales de l'appareil permettent de pilonner des blocs de 0,25 m d'épaisseur, mais cette dimension n'a rien d'absolu, de même que les dimensions superficielles du moule qui, dans le modèle, mesurent 0,4 m de longueur et 0,3 m de largeur.

Dans ces conditions, le nombre de coups est de 60 par minute, donnant une puissance vive de 5 kgm et de 0,022 kgm par centimètre carré de surface pilonnée. Le rendement atteint 50 à 60 blocs par heure de travail.

Les différents organes, dont les mouvements sont nécessairement concordants, sont commandés par des excentriques ; l'arbre de la poulie de commande, sur lequel est clavetée l'une des cames, a ses paliers fixés sur un chapeau en fonte réunissant en leur sommet les quatre pièces verticales du bâti en bois.

Cette description rapide suffit à faire comprendre l'agencement des parties essentielles de la machine. Des dispositifs secondaires permettent de réaliser les opérations suivantes :

1. Mise en place du châssis de moulage, le chariot étant dans la position initiale de la translation dans un sens ;

2. Alimentation en matériaux par simple déclenchement de l'organe de commande ;

3. Déclenchement de la masse chutante, maintenue suspendue par des butoirs pendant les périodes d'arrêt, et mise en marche de l'organe de translation par abaissement du linguet sur la roue à rochet;

4. Enlèvement du châssis.

Un jeu de biellettes d'excentriques de longueurs convenables permet enfin d'adapter l'appareil aux dimensions de la pièce à mouler. Les châssis de moulage sont formés de parois à charnières, afin de faciliter l'opération du démoulage.

Le poids de la machine montée sur 4 roues varie de 400 à 500 kg, suivant le modèle. La puissance nécessaire est de 1,5 ch.

Le personnel comprend : 1 manœuvre pour la conduite de l'appareil, 1 pour enlever les blocs agglomérés et les déposer au séchage, 1 pour le chargement de la trémie; en tout 3 personnes.

On remarquera que la machine ne comporte aucun organe délicat, et que le nettoyage en est facile. Les principaux avantages peuvent se résumer ainsi :

1° Économie de main-d'œuvre;

2° Rapidité de fabrication;

3° Déplacement facile qui permet d'amener l'appareil à la place même où le bloc doit être déposé pour le séchage.

Cet appareil, bien conçu, constitue un progrès très appréciable dans l'organisation de l'outillage d'un chantier.

En conséquence, Messieurs, le Comité des Constructions et Beaux-Arts a émis l'avis qu'il convient de retenir l'invention de M. Jaussaud au nombre de celles que notre Société a décidé, en principe, de récompenser. J'ai l'honneur de vous le proposer en son nom et de vous demander en outre de remercier M. Jaussaud de son intéressante communication et d'ordonner l'insertion au *Bulletin* du présent rapport.

Le Rapporteur,
Lieutenant-colonel ESPITALLIER.

Lu et approuvé en séance publique le 15 janvier 1921.

L'EVOLUTION DE L'AÉRONAUTIQUE PENDANT LA GUERRE

PAR

le LIEUTENANT-COLONEL RENARD (1),
Membre du Conseil.

La guerre est un fléau terrible. Nous sommes encore sous l'impression récente d'une démonstration de cette vieille vérité. Toutefois, dans le mal comme dans le bien, la perfection n'est pas de ce monde. De même qu'ici-bas, il n'y a rien d'absolument bon, il n'existe aucune chose exclusivement mauvaise. La guerre doit donc avoir quelques bons côtés, produire quelques heureux résultats.

Au point de vue moral, depuis les temps les plus reculés, on a reconnu que la guerre offre à l'humanité l'occasion de mettre en action ses plus belles qualités de patience, de générosité, de courage, d'énergie sous toutes ses formes. Elle met en lumière des hommes supérieurs, fait ressortir leurs facultés éminentes, leur procure le moyen de rendre à leur pays des services inappréciables qui leur valent la reconnaissance et l'admiration de leurs contemporains et de la postérité.

Je n'ai pas besoin de sortir de cette enceinte pour en trouver des exemples. Dans l'Aéronautique militaire, on peut citer de nombreux héros, émules des Guynemer et des Garros. Je salue leur mémoire avec respect et reconnaissance, mais je dois me borner à ce rapide hommage car ce n'est pas au point de vue moral, mais au point de vue technique que j'ai l'intention de me placer aujourd'hui.

Sous ce rapport, la guerre exerce incontestablement une heureuse influence. Cette influence a pu rester à peu près inaperçue pendant des siècles entiers; mais elle se manifeste de plus en plus à mesure que le monde vieillit et que la guerre devient de jour en jour plus technique et plus scientifique. Il apparaît aujourd'hui à tous les yeux que la guerre contribue au progrès de la science et de l'industrie d'une manière notable et qu'elle leur donne une impulsion d'une puissance exceptionnelle. Cela tient à plusieurs causes. J'en

(1) Conférence faite en séance publique le 7 février 1920, sous la présidence du général Bailloud. Voir le compte rendu de cette séance dans le *Bulletin* de mars-avril 1920, p. 242.

vois trois principales. La première, c'est que la guerre pose des problèmes spéciaux, ou qu'elle ajoute aux problèmes posés en temps de paix des conditions nouvelles, généralement d'une réalisation très difficile. La seconde, c'est qu'elle exige la solution de ces problèmes d'une manière absolument impérieuse; il faut aboutir à tout prix. La troisième enfin, qui se rattache à la précédente, c'est que, pour obtenir des résultats, on ne ménage rien en temps de guerre : l'argent, l'outillage, les matières premières, les efforts physiques ou cérébraux, les vies humaines au besoin, tout cela est prodigué sans compter.

A la suite d'une guerre comme celle qui vient de finir, il ne faut donc pas s'étonner si, au point de vue de l'intensité de la production et de la qualité des produits, on a fait dans les genres les plus divers de grands pas, parfois des pas de géant. La paix revenue, il est tout naturel de tirer parti des progrès accomplis.

Je vais essayer de vous faire voir rapidement, en ce qui concerne l'aéronautique, quelle a été l'influence de la grande guerre et quel profit on peut tirer en temps de paix des progrès réalisés au cours des hostilités.

Je serai d'autant plus à mon aise pour en parler que si j'ai suivi ces progrès avec un intérêt palpitant, je ne suis pour rien, ou à peu près, dans leur réalisation. Cela a pu paraître étrange à ceux qui connaissaient mes antécédents, et j'en ai été plus étonné que personne, d'autant plus qu'avant la guerre, j'étais porteur d'une lettre de service qui m'enjoignait de me trouver le deuxième jour de la mobilisation, à 8 h. du matin, à Chalais-Meudon, pour prendre la direction de l'établissement d'aéronautique fondé par mon frère Charles Renard, établissement dans lequel j'avais été son collaborateur pendant un quart de siècle. Par suite de circonstances qu'il est inutile de rappeler ici, cet ordre fut annulé. Je fus mobilisé dans le génie, mon arme d'origine et, à part quelques contacts intermittents avec l'aéronautique militaire, j'eus à m'occuper pendant la guerre, de ciment armé, de fils de fer barbelés, d'organisation de positions fortifiées, de ponts militaires, de liquides enflammés, de gaz asphyxiants, d'explosifs, d'assainissement de galeries de mines, de tirs d'artillerie à longue portée, etc., toutes choses dans lesquelles je n'avais d'autres bagages que mes connaissances naturelles. C'est ainsi qu'en ce qui me concerne on a appliqué le grand principe de l'utilisation des compétences.

* * *

Je m'excuse de la longueur de ce préambule, et j'ai hâte d'aborder mon sujet.

La plupart d'entre vous ont certainement visité l'exposition d'aéronautique qui a eu lieu au Grand Palais à la fin de décembre et au commencement de

janvier. A vrai dire, les appareils plus lourds que l'air occupaient à peu près exclusivement à eux seuls la grande nef et ses annexes. Il était difficile qu'il en fût autrement étant données les dimensions considérables des appareils plus légers que l'air. Aussi l'aérostation n'était guère représentée que par des modèles réduits et, pour le public, malgré son titre officiel, l'exposition était le « Salon de l'Aviation ».

Ceux qui avaient conservé le souvenir des expositions antérieures, dont la dernière remonte à 1913, ont pu être frappés de l'accroissement des dimensions des appareils. Les avions étaient moins nombreux, mais ils remplissaient néanmoins tout l'espace disponible et, si l'on pouvait peut-être circuler plus facilement autour des aéroplanes exposés que dans les salons d'autrefois, c'était une conséquence indirecte de la grandeur des appareils qui laissaient en avant ou en arrière de leurs ailes d'importantes surfaces libres.

Sous la coupole de l'avenue d'Antin et dans les salles voisines était installée l'exposition de l'aéronautique militaire. On avait eu l'heureuse idée de lui donner un caractère rétrospectif et l'on y pouvait voir, en vraie grandeur parfois, la plupart du temps sous forme de modèles réduits, les différents types d'aéronefs et d'appareils accessoires en usage avant la guerre ou au cours de celle-ci.

En ce qui concerne l'aviation en particulier, on avait disposé sur une grande table une nombreuse série de modèles réduits d'aéroplanes créés entre 1910 et 1919. Ces appareils, à la même échelle, étaient placés par ordre chronologique, si bien qu'en circulant autour de la table, on pouvait voir en quelques instants l'évolution progressive qui s'était accomplie pendant ces dernières années. Des inscriptions permettaient aux visiteurs de se rendre compte des particularités des appareils exposés. On doit féliciter sans réserve l'aéronautique militaire de l'organisation de cette exposition dont l'installation fut confiée au capitaine Louis Hirschauer.

Pour mon compte, chaque fois que j'ai eu à conduire des visiteurs à l'exposition, j'ai commencé par leur faire voir cette collection de modèles, ce qui leur permettait ensuite beaucoup plus facilement de se rendre compte de l'intérêt des appareils exposés en vraie grandeur.

Le salon de 1919-1920 fut pour tout le monde une révélation. Pendant cinq ans, en effet, les nécessités de la défense nationale avaient forcé à tenir secrets les progrès réalisés en aéronautique. On les vit pour la première fois mis sous les yeux du public et une simple visite au Grand Palais permettait de constater en peu de temps les immenses efforts accomplis et les grands progrès réalisés.

(Projections de vues d'ensemble et des principaux appareils de l'exposition.)

On est frappé de la similitude entre l'aspect intérieur ou extérieur des nacelles d'avions aménagées pour le transport des passagers et celui des nacelles de zeppelins de 1912. Ce rapprochement donnait une idée synthétique des progrès réalisés en aviation au cours des sept dernières années. Depuis longtemps, les aéroplanes avaient sur les dirigeables la supériorité au point de vue de l'altitude et de la vitesse, mais, sous le rapport de la capacité de transport, ils leur étaient notablement inférieurs. Aujourd'hui, ils peuvent enlever une charge utile comparable à celle des plus grands dirigeables des années qui ont précédé la guerre. C'est ce qui a permis de réaliser les installations de passagers qui ont vivement attiré l'attention des visiteurs de la dernière exposition.

En elles-mêmes, ces installations n'ont rien de bien remarquables et ressortent de l'art du tapissier plutôt que de celui de l'ingénieur. Ce qui en fait le mérite et justifie l'intérêt qu'on y a attaché, c'est que les appareils actuels sont susceptibles de s'enlever avec un nombre déjà respectable de passagers et les installations confortables préparées à leur intention.

* * *

Je vais entrer maintenant dans quelques détails, et la suite de cette conférence sera divisée en deux parties, l'une concernant l'aérostation ou les appareils plus légers que l'air, l'autre l'aviation, ou les appareils plus lourds que l'air.

L'aérostation elle-même comprend trois catégories d'appareils connus de tout le monde sous le nom de ballons libres, ballons captifs et ballons dirigeables.

Les *ballons libres* avaient joué un rôle important dans la guerre de 1870-71. On se souvient que ce fut alors à peu près le seul moyen de communication entre la capitale investie et le reste de la France. Ce procédé d'ailleurs ne servait que pour sortir de Paris et pas pour y entrer; mais, grâce aux pigeons voyageurs emportés par les aéronautes du siège, la capitale put recevoir quelques nouvelles de la province.

Dans la dernière guerre, les ballons libres ne jouèrent aucun rôle, du moins sous la forme de ballons montés. Cela tient aux progrès considérables réalisés en aéronautique depuis cinquante ans. A cette époque déjà lointaine, les ballons libres et les ballons captifs étaient, avec les cerfs-volants, les seuls appareils aéronautiques existants. Les dirigeables et les aéroplanes étaient considérés par quelques initiés comme réalisables dans un avenir plus ou moins éloigné; mais, pour presque tout le monde, ils étaient relégués au rang des chimères et des utopies.

Quoi qu'il en soit, on ne cite, au cours de la dernière guerre, aucun emploi de ballons libres montés. Ils furent seulement utilisés, en très grand nombre d'ailleurs, comme ballons-sondes pour les observations météorologiques, et notamment pour la mesure de la vitesse du vent dans les régions élevées de l'atmosphère. Ils fournirent ainsi des renseignements précieux, non seulement aux aéronautes et aux aviateurs, mais encore aux artilleurs, leur permettant de corriger plus exactement le tir des pièces à longue portée, en tenant compte des phénomènes atmosphériques.

Les *ballons captifs*, au contraire, furent utilisés dans de vastes proportions. On sait que, dès la première République, c'est-à-dire moins de dix ans après l'invention des aérostats par les frères Montgolfier, les armées françaises furent dotées d'un matériel de ballons captifs, organisé, soit dit en passant, par un des premiers membres de la Société d'Encouragement pour l'industrie nationale, l'éminent ingénieur Conté qui, d'après Monge, avait « toutes les sciences dans la tête et tous les arts dans la main ». Malgré, les services rendus, les ballons captifs de la fin du XVIIIe siècle étaient d'un maniement difficile et compliqué et ils furent supprimés du matériel militaire au bout de quelques années de service. Ils ne furent rétablis que quatre-vingts ans plus tard, à la suite des travaux de mon frère Charles Renard et de ses collaborateurs. La France fut la première dotée de ballons captifs militaires, dont le premier spécimen fut mis au point en 1879 et figura pour la première fois aux grandes manœuvres en 1880. Mais, comme presque toujours en France, on se montra hésitant dans l'application de ce nouvel engin de guerre, et je me souviens que, vers 1885, quelque temps après les premières expériences du dirigeable la *France*, mon frère crut le moment opportun de profiter de l'autorité morale qu'il avait acquise après ce succès pour proposer une organisation complète de ballons captifs militaires. Dans un rapport rédigé dans ce but, il estima à 20 le nombre de parcs nécessaires pour surveiller convenablement notre frontière entre Longwy et Belfort. Le colonel dont nous dépendions refusa de transmettre le rapport à l'autorité supérieure et nous le renvoya après y avoir mis de sa main au crayon cette simple annotation : « Digne d'Offenbach. »

C'est ainsi que la France qui avait été la première à posséder des ballons captifs se laissa distancer par d'autres puissances dans leur utilisation pratique. On forma bien en 1886 quelques compagnies d'aérostiers. Après les avoir laissé dispersées pendant quinze ans, on les a réunies en 1901 à Versailles en un bataillon dont le premier chef fut le commandant, aujourd'hui général, Hirschauer. Mais, dix ans après, en raison des progrès de l'aviation, on estimait sans aucune valeur ces engins archaïques et la surpression de la moitié des parcs d'aérostiers fut décidée. On en conserva cependant quelques

spécimens. Et pourtant, les Allemands continuaient à les utiliser et, quand la guerre éclata en 1914, nos troupes eurent la désagréable surprise de voir leurs mouvements observés par des captifs auxquels nous n'avions rien à opposer. Heureusement que les ordres de destruction n'avaient pas été complètement exécutés et, en cherchant dans les magasins, on arriva à faire fonctionner, dès le mois de septembre 1914, un parc de ballons captifs. L'utilité de ces engins devenait évidente. Le nombre des compagnies d'aérostiers fut porté de 1 à 7 puis à 15, puis à 24 et, à la fin des hostilités, on en comptait 78, c'est-à-dire 4 fois plus que nous n'avions osé en proposer trente ans auparavant.

Les ballons captifs dont Charles Renard avait doté l'armée française étaient de forme sphérique, avec des dispositions spéciales assurant l'horizontalité et l'orientation de la nacelle, ainsi qu'une égale répartition des efforts sur les différentes parties de l'aérostat, quelles que soient la force et la direction du vent.

Vers la fin du XIXe siècle, on avait imaginé en Allemagne un autre système de ballons captifs, appelés *drachen-ballons*, ballons cerfs-volants. Les ballons captifs sphériques ont en effet l'inconvénient de fonctionner d'autant moins bien que le vent est plus rapide. Dans la pratique, l'emploi de nos ballons captifs cessait d'être possible à partir d'un vent de 8 à 10 mètres par seconde. Les cerfs-volants, au contraire, se tiennent d'autant mieux que le vent est plus rapide.

Les inventeurs du drachen-ballon avaient voulu réunir dans un même appareil les avantages des deux systèmes, le ballon fonctionnant dans d'excellentes conditions par vent faible et le cerf-volant par vent fort, le drachen-ballon devait donner d'excellents résultats dans toutes les circonstances; en fait, la limite d'emploi fut reculée de 10 à 16 mètres par seconde de vitesse du vent.

C'était là un progrès sérieux; mais cet avantage n'était pas obtenu gratuitement. Par vent rapide, le ballon fonctionnait dans des conditions admissibles, mais au prix d'efforts considérables sur l'étoffe, sur les cordages de suspension, sur le câble d'attache, et sur le treuil destiné à le ramener. Le maniement était plus difficile et il fallait se résigner, soit à diminuer les conditions de sécurité d'emploi, soit à augmenter le poids de toutes les parties du système, ainsi que le prix des appareils. Aussi en France, avant la guerre, on n'avait pas cru devoir adopter le drachen-ballon. On considérait en effet que les vents de plus de 10 mètres par seconde sont relativement rares; on se demandait si, pour augmenter dans une assez faible proportion les heures d'utilisation possible du ballon captif, il conviendrait de se résigner aux différents inconvénients signalés plus haut, et l'on pensait

qu'il vaudrait peut-être mieux continuer à se servir des ballons sphériques pour les vents faibles et, en cas de vent rapide, employer franchement les cerfs-volants, plutôt que de recourir à un appareil hybride.

Pendant qu'on discutait sur les deux systèmes en présence, on se décida, ainsi que je l'ai indiqué tout à l'heure, à supprimer purement et simplement les ballons captifs dans notre armée.

Dès le début de la guerre, on reconnut qu'on s'était trompé; on constata également, comme on devait s'y attendre, qu'à certains jours où nos ballons sphériques ne pouvaient plus fonctionner, les drachen-ballons continuaient leurs observations. Il y avait là pour nous une cause de grande infériorité qu'on ne pouvait admettre. On se résolut donc à construire des ballons cerfs-volants imités des ballons allemands, mais exécutés avec un soin spécial et en somme supérieurs à ceux de nos rivaux. Bientôt néanmoins, les inconvénients observés avant la guerre se manifestèrent dans la pratique, et on chercha à y remédier.

On eut la bonne fortune de confier ces études à un technicien de premier ordre, M. Caquot, Ingénieur des Ponts et Chaussées, mobilisé comme capitaine du génie. Il ne s'était jamais occupé spécialement de questions aéronautiques mais, dès qu'il s'attela au problème du ballon captif, il marcha rapidement vers une solution qu'on peut appeler idéale.

Reprenant, sans en avoir eu connaissance, et ayant tout le mérite de l'invention, d'anciens projets de Charles Renard, il résolut de donner au ballon captif la forme du ballon dirigeable, de manière à diminuer dans des proportions considérables la résistance qu'il présentait au vent. Les essais faits dans ce sens autrefois avaient échoué par suite du défaut de stabilité de ces ballons qui se plaçaient volontiers par le travers et présentaient ainsi une résistance plus grande que celle des ballons sphériques de même volume. Il était nécessaire d'assurer leur orientation, à la fois dans le sens vertical et dans le sens horizontal et, à cet effet, de les munir des empennages appliqués universellement aux dirigeables. A la suite des recherches entreprises par Charles Renard dans les dernières années de sa vie, les ballons ainsi empennés ont l'avantage de maintenir leur axe dans la direction du vent et de présenter à celui-ci une résistance très faible.

Le capitaine (depuis commandant) Caquot inclina en outre légèrement l'axe de manière à obtenir l'effet de cerf-volant négligeable lorsque le vent est faible, mais qui prend, par vent fort, une importance suffisante pour amener le redressement du ballon. En fait, les ballons Caquot ont pu fonctionner par des vents de 20 mètres par seconde, et même en mer, attelés à un bateau naviguant par vent debout, jusqu'à des vitesses relatives de 35 mètres. Leur tenue resta excellente à cette grande allure, et néanmoins, les efforts sur

le câble et sur le treuil furent beaucoup moins considérables; et si l'on a construit des treuils mécaniques à grande puissance, ce fut uniquement pour permettre d'effectuer avec plus de rapidité les manœuvres de descente.

La supériorité des ballons Caquot fut consacrée par nos ennemis eux-mêmes qui, profitant de ce que quelques-uns d'entre eux, ayant rompu leurs amarres, étaient tombés dans leurs lignes, les ont copiés avec empressement et les ont, dès lors, préférés à leurs drachen-ballons.

A la fin de la guerre, nous employions des ballons captifs de 800 et 1.000 m^3 avec des câbles ayant une charge de rupture de 3.600 kg, actionnés par des treuils d'une puissance de 70 ch. Pour donner une idée des progrès techniques réalisés, nous rappellerons qu'au début de la guerre les câbles pesaient 200 g par mètre pour une charge de rupture de 2.000 kg et qu'à la fin de la guerre, ils pesaient 152 g pour une charge de rupture de 3.600 kg.

La plupart des ballons captifs servaient comme observatoires, notamment pour le réglage du tir d'artillerie. Les aérostiers exécutaient en outre des reconnaissances de toute nature.

Si le ballon captif a l'inconvénient d'être à une certaine distance du point à observer, il présente par contre le grand avantage d'être constamment relié par téléphone avec la terre. Il peut ainsi transmettre instantanément et d'une façon complète tous les résultats de ses observations.

A la fin de la guerre, on construisit en outre un grand nombre de ballons dits de protection. Les Parisiens ont pu en voir pendant toute l'année 1918. C'étaient des ballons non montés, destinés simplement à gêner le vol des avions de bombardement. Pour éviter de briser leurs ailes contre les câbles invisibles pendant la nuit, ces avions étaient obligés de s'élever à de grandes hauteurs, ce qui diminuait beaucoup l'efficacité de leur tir.

(Projections de ballons captifs et d'appareils accessoires, depuis les aérostats de la première République jusqu'à ceux de la dernière guerre.)

J'ai déjà fait connaître le nombre de compagnies d'aérostiers que nous possédions à la fin de la campagne. Chacune d'elles était munie de plusieurs ballons et, à certains jours, on pouvait en voir sur le front jusqu'à 300 à la fois. La consommation d'hydrogène se chiffrait chaque jour par des dizaines de milliers de mètres cubes. En outre, la confection des ballons captifs absorba des centaines de mille mètres d'étoffe. La production totale fut d'environ 2.000 ballons d'observation et 2.750 de protection. Pour un engin considéré comme démodé quelques années avant la guerre, ce n'était pas trop mal!

Une pareille intensité de production suppose des efforts considérables dont l'établissement de Chalais-Meudon a supporté la plus grande partie. Indépendamment du nom du commandant Caquot, celui du capitaine

Letourneur doit être cité comme un de ces bons ouvriers de la défense nationale.

J'arrive à un appareil beaucoup plus connu du grand public : les *ballons dirigeables*.

Vous savez que, pendant le siècle qui a suivi la découverte des ballons par les frères Montgolfier, le problème de la direction des aérostats a été considéré comme une utopie; et en effet, malgré les efforts de gens éminents tels que Meusnier, Giffard, Dupuy de Lôme, Tissandier qui avaient exactement posé le problème, aucun résultat pratique n'avait été obtenu avant les expériences du ballon la *France* en 1884-85. L'honneur de démontrer par les faits la possibilité de la direction des ballons était réservé à mon frère Charles Renard et à ses collaborateurs.

Pendant les 15 années qui suivirent, la question sembla ne pas faire de progrès. Les expériences de la *France* avaient en effet permis de fixer les constantes du problème et de calculer la puissance motrice nécessaire pour obtenir avec un aérostat de dimensions données une vitesse déterminée. Pour rendre pratique la direction des ballons, il était indispensable d'avoir des moteurs de plus en plus puissants sous un poids donné.

Les progrès réalisés dans l'automobilisme avec les moteurs à explosion devaient fournir cette puissance motrice. M. Santos-Dumont fut le premier en France à appliquer ces moteurs à la direction des ballons, et cette tentative fut couronnée de succès. Cela se passait en 1901; depuis lors, en France et à l'étranger, de nombreux dirigeables furent construits, tous actionnés par des moteurs à explosion de plus en plus puissants.

Tout le monde sait que, en augmentant les dimensions des dirigeables et en développant proportionnellement leur puissance, on doit obtenir des vitesses de plus en plus considérables. On était donc naturellement entraîné à construire des dirigeables de dimensions croissantes.

C'est ce qui avait lieu. Mais, tandis qu'en France on marchait péniblement dans cette voie, passant de 2.000 m^3 à 4.000 m^3, puis à 8.000 m^3, les Allemands qui n'ont jamais eu peur du kolossal avaient construit, plusieurs années déjà avant la guerre, des dirigeables de 20.000 et 30.000 m^3, et même davantage. Ils avaient employé le système rigide, dont le type Zeppelin est le spécimen le plus connu, alors qu'en France et dans d'autres pays on préférait le système souple ou semi-rigide.

Pendant que l'on discutait les mérites des deux systèmes, l'aviation qui avait fait en 1908 sa véritable apparition réalisait des progrès rapides. Enthousiasmés à juste titre par cette nouvelle découverte et se faisant une idée exagérée de ses conséquences immédiates, les pouvoirs publics,

soutenus en cela par l'opinion, traitèrent les dirigeables comme les ballons captifs et les laissèrent de côté. Pourtant des voix autorisées avaient appelé énergiquement l'attention sur l'utilité des dirigeables, notamment en cas de guerre. J'ai, pour mon compte, profité de toutes les occasions qui m'étaient offertes pour pousser des cris d'alarme. M. Painlevé, malgré l'intérêt bien connu qu'il portait à l'aviation, résumait en 1911 ou 1912 les arguments en faveur des dirigeables dans une phrase lapidaire : « Négliger les aéroplanes serait une imprévoyance, mais négliger les dirigeables serait une imprudence. » Il fut d'abord impossible de remonter le courant; on s'y résigna, néanmoins. En 1913, les pouvoirs publics se décidèrent à mettre en commande quelques dirigeables de 20.000 à 25.000 m³. L'exécution n'était pas terminée avant la guerre. Certains d'entre eux furent achevés au cours des hostilités, mais aucun de ces aéronefs ne rendit les services qu'on en attendait.

Cet insuccès tenait à deux causes. La première, c'est qu'en présence des hésitations des Pouvoirs publics, les constructeurs avaient cessé de fabriquer des dirigeables et étaient mal outillés en personnel et en matériel pour exécuter les commandes qu'on leur confiait tardivement. D'autre part, comme on avait, pendant plusieurs années, cessé de faire progresser la question, on voulut, sous prétexte de rattraper le temps perdu, passer brusquement de 8.000 à 25.000 m³, ce qui était un véritable saut dans l'inconnu. Pendant ce temps, les Allemands avaient continué à augmenter leur flotte aérienne d'aérostats et nous abordions la guerre dans un état d'infériorité incontestable.

(Projections de dirigeables : la *France*, *Santos-Dumont*, *Fleurus*, *Astra-Torrès*, *Clément-Bayard*, ballons italiens, ballons Zeppelin, flottes aériennes comparées de la France et de l'Allemagne avant la guerre.)

Au début des hostilités, nos dirigeables firent néanmoins assez bonne figure; mais, en raison des perfectionnements de la défense anti-aérienne, comme il leur était impossible de s'élever assez haut pour échapper au tir ennemi, on renonça à leur emploi sur terre, et on passa le matériel à la Marine qui en tira au contraire un très bon parti. Pendant toute la durée de la guerre, on ne cessa de développer les installations de dirigeables dont les ports d'attache, qui étaient de 3 en 1916, étaient de 14 à la fin des hostilités. Le nombre des unités fut porté de 6 aux environs de 50.

Un triple rôle leur était assigné :

les patrouilles pour faire des reconnaissances au-dessus de la mer;

l'escorte pour accompagner nos convois de bateaux;

la recherche des mines sous-marines.

Le volume et la puissance motrice de ces dirigeables dépendaient de leur rôle; ils dépendaient également du théâtre de leurs opérations. Ceux qui devaient opérer sur la Manche avaient besoin d'un rayon d'action beaucoup

moindre que ceux qui devaient traverser la Méditerranée et à plus forte raison que ceux qui devaient opérer en plein océan Atlantique. On employa donc des dirigeables dont le volume variait de 8.000 à 12.000 m³ et qui pouvaient obtenir des vitesses allant jusqu'à 80 km à l'heure. Les plus gros de ces appareils avaient des rayons d'action de 14 h. à grande vitesse et de 30 h. à vitesse réduite; plusieurs étaient armés de canons de 47, et quelques-uns de canons de 75. Au cours des opérations, 5 dirigeables ont exécuté par leurs propres moyens le voyage de Paris à Alger. Les voyages de 12 h. ont été fréquents; on exécuta même des randonnées de 36 h consécutives. Quant aux résultats obtenus, il suffit de dire qu'un seul découvrit dans la mer Ionienne 18 mines sous-marines et permit par conséquent d'éviter des catastrophes.

Tous les dirigeables que nous employâmes au cours des hostillités appartenaient au type souple et quelques-uns au type semi-rigide. En France, avant la guerre on était généralement hostile au type rigide, et le peu de succès obtenu par les Zeppelins a fait prononcer souvent à leur propos l'expression de faillite.

Il y a là une exagération réelle. Certes, ces appareils n'ont pas rendu aux Allemands tous les services qu'ils en attendaient, mais leur rôle fut loin d'être négligeable. On peut citer, dès 1917, un Zeppelin exécutant un voyage de 108 h. consécutives. La même année, un autre se rendit de la Bulgarie jusqu'à Kartoum dans la Haute-Égypte et revint à son point de départ après un voyage de 7.000 km. Pendant toute la durée des hostilités, les Zeppelins se livrèrent à des patrouilles continuelles sur la mer du Nord et en interdirent pratiquement l'accès aux flottes alliées.

Mais le plus grand exploit à citer à l'actif des rigides est celui du R-34 qui, dans le courant de 1919, a traversé l'Atlantique, aller et retour, d'Edimbourg à New-York, ce qui représente un parcours de 11.000 km.

Il est à remarquer que, de tous les engins aériens il est le seul qui ait exécuté la traversée dans les deux sens, les avions n'ont franchi l'Atlantique que de l'ouest à l'est, c'est-à-dire dans le sens où le vent leur venait généralement en aide. De plus, ces avions ont subi des avaries, soit en cours de route, soit à l'atterrissage, tandis que le R-34 a exécuté sans encombre sa double traversée. Dans l'état actuel de l'aéronautique, les gros dirigeables longs courriers, sont les seuls capables d'effectuer sans escale des raids de plusieurs milliers de kilomètres, avec une capacité de transport encore notable. Le R-34 est un ballon de plus de 50.000 m³. On entreprend la construction de ballons de 75.000 m³ et on envisage la possibilité d'en construire de 100.000 m³ et au delà. Tous ces gros ballons sont prévus dans le système rigide.

La guerre a permis d'élucider au point de vue technique la question controversée des avantages et des inconvénients des deux systèmes. Pour les volumes relativement petits, c'est-à-dire jusqu'à 10.000 ou 15.000 m³, la supériorité appartient aux souples; leur poids mort est beaucoup plus réduit. Mais dans ce système, le poids mort augmente proportionnellement à la 4ᵉ puissance des dimensions linéaires, c'est-à-dire plus vite que le volume. Pour les rigides, l'augmentation du poids mort ne suit pas la même loi. Elle est beaucoup moins rapide à partir d'un certain volume; elle n'augmente que proportionnellement à celui-ci et, au delà, elle aurait plutôt tendance à augmenter moins vite. C'est ainsi, que pour un dirigeable rigide de 20.000 m³, le poids mort serait d'environ 70 p. 100 de la force ascensionnelle totale, tandis que pour 70.000 m³, le poids mort ne représente plus que 40 p. 100 de l'ensemble. Si l'on trace pour les deux systèmes la courbe du poids mort, en prenant pour abscisses les volumes des ballons, pour les aérostats de petite dimension l'avantage appartient incontestablement aux souples. Mais, pour ceux-ci, la courbe monte rapidement et elle vient couper vers 30.000 ou 40.000 m³ celle des rigides. A gauche de ce point d'intersection, l'avantage appartient aux souples; à droite, c'est-à-dire pour les gros volumes, l'avantage est aux rigides.

Dans la pratique, on peut dire que les ballons souples sont avantageux jusqu'à 10.000 ou 15.000 m³, et que les rigides sont tout indiqués à partir de 50.000 ou 60.000 m³; dans les régions moyennes, on peut théoriquement employer les uns ou les autres, mais aucun d'eux n'est d'un usage avantageux.

La tendance est donc d'avoir deux catégories bien tranchées de dirigeables : les petits du système souple et les gros du système rigide.

Ainsi que je vous le disais tout à l'heure, on avait, en France, commandé quelques gros dirigeables dans la dernière année de la guerre. Au moment de l'armistice, le ministère de la marine crut devoir arrêter immédiatement les commandes et résilier les marchés. En raison de l'état avancé des travaux, on dut indemniser largement les constructeurs. Le résultat fut qu'on paya pour ne rien avoir plus de 60 p. 100 de ce qu'on aurait dû payer pour posséder quelques grosses unités qui auraient pu, en temps de paix comme en temps de guerre, nous rendre d'excellents services. Notre flotte d'appareils plus légers que l'air, inférieure à celle de nos rivaux au début de la guerre, l'est encore aujourd'hui grâce à cette mesure néfaste et au découragement qui s'en est suivi chez tous les constructeurs. Espérons que l'on renoncera un jour ou l'autre à ces errements déplorables.

(Projections de dirigeables du système souple et du système rigide, notamment du R. 34.)

* * *

J'ai hâte d'arriver à la deuxième partie de cette conférence, c'est-à-dire à l'aviation, qui a, pendant la dernière guerre, joué incontestablement un rôle beaucoup plus important à tous égards que l'aérostation.

De même que les appareils plus légers que l'air, les appareils d'aviation



Le Dirigeable anglais R. 34 qui a exécuté la traversée de l'Atlantique, aller et retour.

se partagent en trois catégories : les parachutes, les cerfs-volants et les avions. Les deux derniers types correspondent exactement aux ballons captifs et aux dirigeables; quant aux parachutes, on peut à la rigueur les assimiler aux ballons libres, mais, tandis que ceux-ci peuvent exécuter de longs voyages, ceux des parachutes sont nécessairement éphémères, car on sait que ces appareils ne font que retarder l'action de la pesanteur et sont irrémédiablement condamnés à toucher le sol au bout d'une descente dont la durée se chiffre en minutes.

Néanmoins, leur intérêt, comme engins de sécurité, est considérable. Les ballons, comme les avions, sont exposés à des avaries et parfois de simples pannes peuvent suffire pour amener des catastrophes. L'emploi du parachute comme engin de sauvetage permet d'en atténuer les conséquences et, au cours de la dernière guerre, de nombreuses vies humaines ont été épargnées

grâce à ce modeste appareil; il mérite donc que nous lui consacrions quelques instants.

Le *parachute* est aussi ancien que les ballons. Depuis 1783, il n'a cessé d'être employé. En ce qui concerne le principe fondamental du parachute, il n'y a rien à inventer; mais la difficulté consiste à adapter l'appareil aux véhicules aériens à bord desquels il doit être employé. Quand il s'agit de ballons captifs ou de dirigeables, le problème n'est pas très compliqué. On dispose de place suffisante pour installer convenablement l'appareil; il est nécessaire de le plier pour qu'il soit peu encombrant; de plus il est indispensable que l'aéronaute puisse se l'adapter facilement, à moins qu'il n'ait procédé à cette opération dès le début du voyage aérien; il faut en outre que le déploiement de l'appareil soit assuré d'une façon certaine au moment où l'on doit s'en servir.

En avion, le problème est plus difficile. Quelques personnes ont proposé d'avoir des parachutes de grand développement, capables d'amortir en cas de besoin la vitesse de descente de l'appareil tout entier. On a dû renoncer à cette conception qui entraînerait à des appareils trop volumineux dont l'encombrement et le poids seraient prohibitifs, le fonctionnement précaire. D'ailleurs, lorsqu'un avion est exposé à descendre, il n'y a aucun intérêt à préserver un appareil qui se détériorera probablement d'une façon irrémédiable dès le contact du sol, qui parfois sera enflammé, et dont le voisinage sera par suite plus dangereux qu'utile pour les aviateurs. Aussi en aviation, le parachute individuel est-il le seul auquel on puisse pratiquement avoir recours.

La difficulté de pliage et d'adaptation à l'aviateur est la même que dans le cas des ballons captifs ou dirigeables; mais d'autres difficultés surgissent. Dans la plupart des aéroplanes, il est très malaisé à l'aviateur de se dégager de l'appareil pour se laisser descendre en parachute. D'autre part, étant donnée la grande vitesse horizontale dont sont animés les avions, les premiers instants de la descente sont extrêmement mouvementés. Dès que le parachute se déploie, il oppose au mouvement horizontal une résistance énorme qui peut avoir des effets désastreux sur l'appareil et sur l'aviateur lui-même. En outre, il se produit fatalement des mouvements pendulaires d'une grande amplitude, fort gênants et parfois dangereux. Pour tous ces motifs, il ne faut pas s'étonner si, à bord des avions, les parachutes ont été peu employés pendant la dernière guerre.

Il en fut tout autrement en aérostation, et, dans les dernières années de la guerre, tous les ballons captifs en particulier étaient munis de parachutes qui ont permis dans de nombreuses circonstances aux observateurs de faire des atterrissages sans encombre, bien que leurs ballons aient pu être crevés ou incendiés, par les aviateurs ennemis.

(Projections de parachutes au XVIIIe siècle, de ballons captifs munis de parachutes. Descentes en parachute. Parachute pour avion.)

Dans la première partie de cette conférence, j'ai été amené à dire incidemment quelques mots des *cerfs-volants* qu'il avait été question en France, quelques années avant la guerre, d'employer concurremment avec les ballons captifs, ceux-ci devant en principe être employés par vent modéré, ceux-là, au contraire, par vent fort. Mais rien, ou à peu près rien, n'avait été préparé dans ce but avant la guerre et, malgré quelques efforts louables, aucune application des cerfs-volants n'a été faite par nos armées. Ce fait s'explique d'ailleurs en raison des perfectionnements apportés aux ballons captifs qui ont permis d'en reculer considérablement les limites d'emploi.

* * *

J'arrive enfin aux avions, c'est-à-dire aux navires aériens plus lourds que l'air, susceptibles d'évoluer à leur gré.

On sait qu'on les subdivise en trois groupes; les *ornithoptères*, munis d'ailes à mouvement alternatif comme celles des oiseaux; les *hélicoptères* dont la sustentation est assurée par des hélices à axe vertical; et enfin les *aéroplanes* dans lesquels la sustentation est obtenue par des ailes fixées invariablement au corps de l'appareil; cette sustentation n'est d'ailleurs obtenue qu'à la condition que l'aéronef soit animé d'une grande vitesse horizontale.

Jusqu'à présent, les ornithoptères n'ont été que des jouets scientifiques. Les hélicoptères ont été essayés plus en grand mais n'ont donné lieu qu'à des expériences de laboratoire. Seuls, les aéroplanes constituent des engins pratiques et ils ont été employés, au cours de la dernière guerre, dans des conditions que je vais essayer de vous indiquer.

L'emploi des aéroplanes est tellement exclusif que, dans l'usage courant, on se sert indifféremment de ce mot ou du terme plus général d'avion pour désigner les aéronefs plus lourds que l'air.

Le principe des aéroplanes était connu depuis le commencement du XIXe siècle et pendant cent ans, un certain nombre de chercheurs n'ont cessé d'étudier la question et ont poussé la théorie tellement loin que tous étaient certains du succès; à partir du jour où l'industrie fournirait le moteur à la fois puissant et léger nécessaire à imprimer aux aéroplanes une grande vitesse horizontale, le problème serait pratiquement résolu. L'événement a justifié ces prévisions et lorsque, grâce aux progrès de l'automobilisme, on a pu avoir des moteurs à explosion pesant moins de 5 kg par cheval, il a suffi

de construire les appareils prévus, d'y installer une hélice et un moteur pour réaliser le vol mécanique.

Dès la fin du XIXe siècle, Ader en France et Maxim en Angleterre avaient pu détacher du sol par des procédés aérodynamiques des appareils d'un poids considérable. Ce sont les frères Wright, en Amérique, qui, vers 1903, ont les premiers réalisé le vol en aéroplane, mais ils ont tenu leurs expériences secrètes.

En 1906, Santos-Dumont en France, suivi bientôt de Farman et de ses émules, y réussirent à leur tour. L'année 1908 vit la véritable éclosion de l'aviation. On se rappelle que Wilbur Wright vint en France avec son appareil que le monde entier alla voir évoluer au camp d'Auvours, près du Mans. Pendant ce temps, les Farman, les Esnault-Pelterie, les Blériot, les Delagrange, les Voisin multipliaient leurs appareils et leurs expériences. En 1909, Blériot traversait la Manche. En 1910, sous le nom de Circuit de l'Est, on effectuait un grand voyage en avion de Paris en Champagne, Lorraine, Flandre et Picardie. En 1912, Garros traversait la Méditerranée. En 1913, Chavez franchissait les Alpes. Pendant cette période, chaque année, les aéroplanes gagnaient en vitesse, en altitude et en capacité de transport.

Dès l'année 1911, on avait commencé à les utiliser en France aux grandes manœuvres. En 1912, on constitua les escadrilles qui se développèrent pendant les années suivantes.

(Projections d'aéroplanes de Santos-Dumont, Wright, Blériot, etc.; circuit de l'Est : Garros au-dessus des ruines de Carthage; vols acrobatiques : Pégoud; manœuvres de 1912, traversée des Alpes; avions allemands; dessin de Hansi représentant des Alsaciens contemplant un avion français.)

Nous avons vu qu'en France on s'était rapidement enthousiasmé pour l'aviation et que l'on comptait beaucoup sur elle au point de vue militaire. On avait parfaitement raison en cela : mais il nous manqua en aéronautique, comme en beaucoup d'autres choses, la suite dans les idées et la persévérance dans l'action. Les nombreux changements de ministère imposés par la politique aggravèrent le mal : on avait supprimé les ballons captifs, on avait commis l'imprudence de ne pas développer notre flotte de dirigeables et cela, disait-on, parce qu'on réservait le premier rôle à l'aviation, et pendant ce temps-là, la malheureuse aviation était mollement encouragée, incomplètement organisée, si bien qu'au mois de juillet 1914, nous avons abordé la guerre avec 120 aéroplanes constitués en escadrilles hétérogènes et insuffisamment entraînées. Nous avions donc une préparation insuffisante. Heureusement qu'au cours de la guerre on sut, suivant la formule habituelle, se débrouiller et que, grâce à un effort énorme, nous pûmes réparer

peu à peu notre infériorité par rapport à l'aviation ennemie, acquérir plus tard l'égalité et finalement bénéficier d'une maîtrise aérienne incontestable.



Aéroplane Wright, 1908.

Aussi, sous quelque aspect qu'on envisage la question, on ne peut que constater un développement, une multiplication de notre aviation dans des proportions considérables.

Si l'on s'en tient au nombre des appareils, nous construisîmes environ 50.000 avions pendant la guerre, dont 15 à 20.000 au cours de l'année 1918. Il ne faudrait pas en conclure que nous avons eu dans l'atmosphère en même temps une flotte aussi importante, car on sait que l'existence des aéroplanes est courte. Néanmoins, cela nous permit, à la fin des hostilités, de compter par milliers nos unités qui n'étaient que de 120 en 1914. Pour les moteurs, la progression fut du même ordre de grandeur. Nous en possédions 300 à la mobilisation; pendant la guerre, on en construisit 90.000, dont 35.000 en 1918. Ces chiffres ne concernent que les appareils fabriqués en France, pour la France; il faudrait y ajouter notre fabrication à l'usage de nos alliés pour avoir une idée exacte de l'effort industriel accompli.

Mais ce n'est pas seulement le nombre des avions qui a augmenté; il y a eu également une progression dans leurs caractéristiques de toute nature. C'est ce que nous allons examiner successivement au point de vue géométrique et au point de vue mécanique.

L'envergure est, comme on le sait, une des données caractéristiques de la valeur d'un appareil d'aviation. Les oiseaux grands volateurs ont des envergures qui atteignent $2^{m},50$.

Les premiers aéroplanes, ceux de 1908, atteignaient $12^{m},50$ d'envergure. En 1912, on était arrivé à $15^{m},50$ et, à la veille des hostilités, on avait dépassé 16 m. Deux ans plus tard, en 1916, on avait atteint $18^{m},30$; l'année suivante 36 m et à la fin de la guerre, on était arrivé à 48 m d'envergure, c'est-à-dire que, pendant les six années qui avaient précédé la guerre, l'envergure primitive avait augmenté de 30 p. 100, qu'au moment de l'armistice, l'augmentation était de 200 p. 100 par rapport au début des hostilités, et de 300 p. 100 par rapport à l'année 1908.

La hauteur totale d'un appareil est beaucoup moins intéressante, mais elle a néanmoins subi une progression qui est loin d'être négligeable car, de 3 m en 1908, on avait, à la fin des hostilités atteint $7^{m},20$.

Il est une autre dimension plus importante encore que l'envergure, c'est la surface porteuse ou surface des ailes. Il est évident, en effet, que, toutes choses égales d'ailleurs, la puissance de transport d'un appareil sera d'autant plus grande que les ailes seront plus développées. En 1908, cette surface était normalement de 50 m^2. En 1912, on était arrivé à 60 m^2, et cette dimension n'avait pas été dépassée, sauf pour quelques appareils exceptionnels, assez médiocres d'ailleurs. Pendant la guerre, la progression fut la suivante : 66 m^2 en 1916 : 200 m^2 en 1917 et 445 m^2 en 1918. Ici, l'augmentation était de 600 p. 100 par rapport au début des hostilités et de près de 800 p. 100 par comparaison avec les premiers aéroplanes.

Une constatation analogue peut être faite au point de vue mécanique et ici, nous aurons à envisager successivement les données statiques et les données dynamiques.

La première caractéristique, au point de vue statique est le poids total de l'appareil. Les chiffres qui vont suivre se rapportent au poids en pleine charge.

Les plus lourds appareils de 1908 pesaient 675 kg. Deux ans après, on était arrivé à 800 kg et un an plus tard à 900 kg. Bientôt la tonne était dépassée et, en 1913, on possédait des avions de 1.100 kg. Dès 1915, on atteignait 1.400 kg; en 1916, on dépassait 2.200 kg; en 1917, 6.500 et, en 1918, on avait atteint 16 t. Ici, nous ne sommes plus en présence d'augmentations de 300 ou 400 p. 100, mais dans le rapport de 14 à 1 depuis le début des hostilités et de 25 à 1 depuis les premiers aéroplanes.

L'accroissement du poids a donc suivi une marche plus rapide que celui des surfaces; par conséquent, le développement de celles-ci ne suffit pas à expliquer comment on a pu élever dans les airs des masses aussi considérables. Il est nécessaire qu'indépendamment du développement des dimensions géométriques, il y ait eu de très grands progrès de la puissance mécanique. C'est ce que nous allons voir dans ce qui va suivre.

Il est en effet une caractéristique fondamentale des aéroplanes : c'est le rapport entre le poids total et la surface des ailes, ce que l'on appelle en langage technique le poids par mètre carré, ou la charge unitaire, quelquefois la densité, ce qui est une expression assez critiquable.

Quoi qu'il en soit, ce rapport du poids à la surface porteuse était inférieure à 14 pour les aéroplanes de 1908. Dès l'année suivante, on atteignait le chiffre 24 et, en 1911, on était arrivé à 39. Sauf pour quelques cas isolés d'appareils ayant peu ou point navigué, on en était à ce chiffre au début des hostilités. Pendant la première année de la guerre, il n'y eut pas grande amélioration sous ce rapport mais, en 1917-1918, on était arrivé au chiffre de 50 kg par mètre carré qui est aujourd'hui d'un usage courant.

S'il est intéressant de voir augmenter le poids total des appareils, il y a, au point de vue pratique, un progrès plus digne encore d'attirer l'attention : c'est le rapport du poids utile au poids total. Voici quelques chiffres à ce sujet, étant bien entendu que par le poids utile on désigne non seulement le poids du chargement commercial (passagers et marchandises transportées), mais encore celui de l'équipage, du combustible, de l'huile, etc.

En 1908, le rapport du poids utile au poids total ne dépassait pas 27 p. 100; dans les années qui suivirent, on atteignit successivement 35, 37 et 45 p. 100. C'était le rendement ascensionnel maximum au début des hostilités.

Pendant la guerre, on ne cessa de faire des progrès sous ce rapport et, au moment de l'armistice, on était arrivé à 59 p. 100.

Ainsi que je le faisais pressentir, cet accroissement du poids des appareils, sous quelque aspect qu'on l'envisage, suppose une augmentation de la puissance motrice et aussi de son utilisation. Ceci m'amène à parler des quantités dynamiques des aéroplanes.

Au point de vue de l'utilisation de la puissance motrice, on envisage fréquemment une caractéristique à laquelle on a donné le nom de finesse. C'est le rapport entre la force de traction horizontale de l'hélice et le poids de l'appareil. Il est évident que, plus ce rapport est faible, plus l'aéroplane est avantageux. Faute de mesures précises, il est difficile de se rendre compte de ce qu'était la finesse des appareils de 1908. Au début des hostilités, on considérait comme excellents ceux dont la finesse était égale à 20 p. 100; à la fin de la guerre, on était arrivé à réduire ce chiffre à 14 p. 100 et, il est probable que d'ici quelque temps on descendra à 10 p. 100.

Si nous passons maintenant à la puissance motrice, nous constatons une progression de même ordre qu'il convient d'examiner sous différents aspects.

Le premier qui vient à l'esprit, c'est la puissance des moteurs embarqués. En 1908, les plus forts moteurs d'aéroplanes étaient de 45 ch; l'année suivante, on était arrivé à 50 et, deux ans plus tard, en 1911, on avait atteint le chiffre de 100; en 1913, à la veille des hostilités, on avait pu embarquer des moteurs de 160 ch. Il n'y a pas de progrès sensible en 1915, mais en 1916, on était arrivé à 260 ch; en 1917 à 800 et en 1918 à 1.800; c'était plus de 11 fois la puissance motrice du début de la guerre et plus de 36 fois celle de 1908.

Nous avons tout à l'heure comparé le poids utile au poids total des appareils; nous allons maintenant examiner le rapport de ce poids total à la puissance motrice, ce qu'on appelle d'une manière elliptique, et assez critiquable d'ailleurs, le poids par cheval.

Cette donnée, comme la finesse, varie en raison inverse des qualités de l'appareil, c'est-à-dire que plus la puissance motrice embarquée est considérable par rapport au poids total, plus le poids par cheval est faible. En 1908, ce rapport n'était pas descendu au-dessous de 15, en d'autres termes, la puissance motrice était égale au quotient du poids total par 15. Dès 1909, ce chiffre avait baissé à 8,2 et à 7,2 en 1911. Comme toujours, nous ne tenons pas compte de quelques cas isolés qui prouvaient chez certains constructeurs plus d'audace que d'appréciation exacte de l'état actuel de la question. Le chiffre n'avait pas sensiblement diminué depuis 1911 jusqu'au début des hostilités; en 1917, il est descendu à 3,8 et en 1918 à 3,45, c'est-à-dire que

par rapport au poids total la puissance motrice embarquée avait plus que quadruplé.

Une pareille augmentation de la puissance motrice, soit en valeur absolue, soit en valeur relative, doit avoir comme conséquence forcée une augmentation des vitesses des aéroplanes. C'est ce que nous constatons en effet.

Au début de l'aviation, en 1908, la vitesse normale était de 60 km à l'heure; elle atteignait 80 en 1909, 90 en 1910, 118 en 1911 et restait à peu près stationnaire jusqu'au début des hostilités. Après un an de guerre, en 1915, on arrivait à 138; en 1916, on atteignait 158; en 1917, 225, et en 1918, 242 km à l'heure. On sait que ces vitesses ont été dépassées depuis.

Les chiffres qui précèdent correspondent à des vitesses au niveau du sol, dans les régions basses de l'atmosphère. Au début de l'aviation, ces vitesses diminuaient rapidement quand l'aéroplane s'élevait. On est parvenu à atténuer cette décroissance et, en 1917, on a constaté à 5.000 m d'altitude des vitesses de 203 km à l'heure, et en 1918, de 213 km à l'heure à l'altitude de 6.000 m. A partir de ce moment, on attacha une importance de plus en plus grande au fonctionnement des aéroplanes à de hautes altitudes, et c'est ce qui m'amène à vous dire quelques mots d'une caractéristique fort intéressante à laquelle on a donné le nom de *plafond*.

Cette expression a été employée, je crois, pour la première fois, en aéronautique par mon frère Charles Renard, il y a plus de trente ans. En décembre 1892, dans une communication à l'Académie des Sciences au sujet de l'emploi de ballons pour les sondages atmosphériques à grande hauteur, il disait : « Il semble que l'atmosphère d'abord si facile à gravir soit bientôt limitée par un plafond d'airain. »

De même que les ballons, les appareils plus lourds que l'air sont soumis à cette loi. Il y a en effet un phénomène avec lequel ont à compter les aéronefs de toute nature : c'est la diminution du poids spécifique de l'air avec l'altitude. Pour les aérostats, l'influence de ce phénomène est très simple; la force ascensionnelle du mètre cube de gaz est sensiblement proportionnelle à la densité de l'air ambiant; elle diminue donc en progression géométrique à mesure qu'on s'élève, et lorsqu'on s'est délesté de tout le poids disponible et qu'il ne reste plus rien à jeter par-dessus bord, on est limité; on ne peut dépasser la hauteur à laquelle la force ascensionnelle du gaz fait équilibre au poids de l'appareil et de son chargement réduit au minimum.

Pour les appareils plus lourds que l'air, la question est plus complexe. Toutes choses égales d'ailleurs, c'est-à-dire à vitesse égale et pour une incidence égale, la force sustentatrice des ailes d'un aéroplane est proportionnelle au poids spécifique de l'air; mais l'aviateur peut dans une certaine

limite faire varier l'incidence ou la vitesse et, sans entrer dans aucun détail, ce qui m'entraînerait à de trop longs développements, il est facile de concevoir que, grâce à des manœuvres appropriées, on peut compenser en partie la diminution de la force ascensionnelle due à la raréfaction de l'air. Mais il est, dans chaque cas particulier, un régime de marche caractérisé par une incidence et une vitesse propre déterminées, plus avantageux que tout autre au point de vue de la sustentation. Ce que peut faire de mieux l'aviateur, c'est de se mettre à ce régime et lorsqu'il y est parvenu, il ne peut plus améliorer sa sustentation et ne dispose plus d'aucun moyen pour combattre l'influence de diminution de densité de l'air. Il est donc arrêté à un niveau déterminé, et c'est ce que nous avons appelé plafond.

On peut déterminer l'altitude du plafond par expériences ou essayer de la calculer à l'avance. Mais ici on peut faire différentes hypothèses, suivant la manière dont le moteur fonctionne à différentes altitudes.

Si le moteur conservait à toute hauteur la même puissance, comme le fait par exemple un moteur électrique, et pouvait en outre être d'une souplesse suffisante pour s'adapter à toutes les conditions de marche nécessaires, la hauteur du plafond ne dépendrait que du poids spécifique de l'air. Mais avec les moteurs à explosion, il se passe un autre phénomène, c'est que leur fonctionnement se modifie avec l'altitude. S'ils ont été construits de manière à fonctionner dans les meilleures conditions possibles à la pression atmosphérique qui règne au niveau de la mer, ils sont dans des conditions de moins en moins bonnes à mesure qu'ils s'élèvent. Par conséquent, la hauteur du plafond se trouve diminuée en raison de l'altération qui se produit dans le fonctionnement du moteur.

On a cherché par divers moyens à remédier à cet inconvénient. Parfois, on a construit des moteurs faits pour les hautes altitudes en se résignant à un fonctionnement médiocre dans les régions basses de l'atmosphère. Dans d'autres cas, on a employé des dispositifs spéciaux qui modifient la carburation, ou l'aspiration, ou la compression, de manière à adapter autant que possible pour chaque altitude le fonctionnement du moteur aux conditions ambiantes.

Il est un autre procédé auquel notre savant collègue M. Rateau a attaché son nom. C'est celui qui consiste à comprimer l'air dans une capacité fermée dans laquelle se fait l'aspiration. Grâce à cet artifice, le moteur est maintenu constamment dans les mêmes conditions qu'à son point de départ. Le plafond se trouve ainsi notablement relevé et atteint l'altitude qui résulte simplemen des conditions aéro-dynamiques.

Quoi qu'il en soit, lorsqu'un aéroplane a atteint son plafond, il est ce qu'on appelle *tangent*, c'est-à-dire que sa puissance motrice est strictement

suffisante pour lui permettre de se soutenir. S'il vient à descendre, il possèdera un excès de puissance, puisqu'il se trouvera dans de meilleures conditions de sustentation que lorsqu'il naviguait à son plafond. Plus il descendra au-dessous du plafond, plus l'excès de puissance sera considérable; ou, en d'autres termes, plus le moteur sera surabondant.

Or, il est évident que plus le plafond sera élevé, plus la hauteur à laquelle l'aéroplane pourra descendre en dessous sera considérable. Les aéroplanes à plafond élevé devront donc avoir forcément au voisinage du sol un excès de puissance notable. Cet excès de puissance sur lequel nous reviendrons plus tard pourra s'obtenir de deux manières, soit parce qu'on embarque à bord un moteur d'un grand nombre de chevaux, mais comme en aéronautique on est toujours limité par le poids, on ne peut obtenir ce résultat qu'à la condition d'avoir des moteurs aussi légers que possible par cheval, le perfectionnement des moteurs sous le rapport de la légèreté spécifique est donc un moyen de se procurer un excès de puissance. Mais il en est un autre, c'est d'utiliser le mieux possible la puissance disponible et cette bonne utilisation résulte de la perfection de l'aéroplane dans toutes ses parties, hélices plus efficaces, ailes d'une meilleure qualité sustentatrice, formes affinées pour réduire au minimum la résistance à l'avancement, etc.

De tout ce qui précède, il résulte que, plus un aéroplane est parfait dans toutes ses parties, plus il possède un excès de puissance considérable. Cet excès de puissance mesuré au niveau du sol est donc un critérium de la valeur d'un avion. Comme cet excès de puissance permet d'atteindre un plafond élevé, il en résulte que la hauteur du plafond donnera une idée d'ensemble des qualités d'un aéroplane; c'est donc avec raison qu'on y attache la plus grande importance.

Tout cela était connu plusieurs années avant la guerre, mais, dans la pratique, on se contentait d'atteindre des altitudes relativement faibles. La guerre est venue changer cette manière de faire. Nos aéroplanes, exposés au tir des mitrailleuses et surtout à l'artillerie, ont dû, sous peine de mort, atteindre de grandes altitudes. Le plafond élevé est devenu un objet de première nécessité; aussi s'est-on efforcé d'atteindre des altitudes de plus en plus élevées. Cette obligation a été sans aucun doute un des grands facteurs du perfectionnement apporté aux aéroplanes pendant la guerre.

L'aviation avait pratiquement six ans d'existence au moment de la déclaration de guerre. Dès l'année 1911, son développement avait été réglé à peu près exclusivement en vue des opérations militaires; il ne faut donc pas s'étonner si, en 1914, on avait déjà envisagé plusieurs catégories d'avions de guerre.

On en distinguait trois principales :

les avions de chasse; les avions de reconnaissance;

les avions de bombardement.

Les premiers, comme leur nom l'indique, étaient destinés à donner la chasse aux aéronefs ennemis. Ils devaient naturellement être rapides pour pouvoir atteindre efficacement l'adversaire, ou, si la lutte se présentait dans des conditions défavorables, pour permettre d'échapper à sa poursuite. C'était à peu près la seule qualité qu'on avait envisagée avant la guerre. Mais, dès le début des hostilités, on comprit qu'ils devaient en outre avoir une grande souplesse; leur mode d'opérer se rapprochait de plus en plus de celui des oiseaux de proie; ils devaient à chaque instant changer leur altitude, leur direction, commencer et terminer rapidement leur ascension et leur descente, pratiquer le vol piqué pour fondre sur leur proie à la manière des aigles ou des faucons, ou se livrer aux vols acrobatiques qui avaient rendu célèbres Pégout et ses émules, afin de dérouter l'adversaire par leurs mouvements imprévus, d'éviter ses coups et de l'accabler sous les leurs quand l'aviateur jugeait le moment favorable. Guynemer et ses pareils étaient devenus des maîtres dans la chasse aérienne. Pour exécuter ces manœuvres variées, il était indispensable de disposer d'un excès de puissance considérable et par suite d'avoir un plafond très élevé; le plafond était d'ailleurs nécessaire pour éviter les projectiles terrestres. Par contre, comme on leur demandait un faible rayon d'action et une faible capacité de transport, il était possible de disposer d'un poids relativement considérable pour le moteur, et par conséquent d'obtenir la puissance surabondante nécessaire.

Au cours de la guerre, on fut rapidement amené à subdiviser en deux classes les avions de reconnaissance. On distingua les avions de reconnaissance proprement dits et les avions d'observation. Les premiers, souvent appelés avions de corps d'armée, devaient être rapides, — moins cependant que les avions de chasse, — et avoir comme eux un plafond élevé; en outre, on leur demandait un rayon d'action étendu. En 1918, ils pouvaient parcourir 500 km d'une traite; cela exigeait l'embarquement d'un poids notable d'essence et d'huile; par contre, le poids utile transporté se réduisait à l'équipage.

Les avions d'obversation étaient parfois affectés à des reconnaissances à de courtes distances, mais surtout au réglage des tirs d'artillerie. On ne leur demandait donc qu'un rayon d'action très limité; il leur suffisait de pouvoir observer les points de chute des projectiles. L'ennemi avait naturellement tout intérêt à les abattre; mais tandis que les avions de chasse étaient destinés en principe à la lutte aérienne et que les avions de reconnaissance pouvaient accepter le combat et tenir, soit jusqu'à la victoire ou au moins un temps

suffisant pour attendre les avions de chasse chargés de les défendre, on avait admis en principe que les avions d'observation attaqués par les escadrilles ennemies n'essaieraient pas d'affronter la lutte, et se retireraient en interrompant momentanément leurs opérations. On ne leur demandait donc qu'un faible plafond, et comme, d'autre part, ils n'avaient besoin ni de trop grande vitesse, ni de rayon d'action, ni de capacité de transport, on pouvait les faire légers, relativement peu coûteux, maniables sans un trop long apprentissage. Cela permit d'en multiplier le nombre et par suite d'assurer le service d'observation d'une manière parfaitement efficace.

La troisième catégorie comprenait les avions de bombardement. Au début de la guerre, ni nos ennemis, ni nous-mêmes n'étions bien pourvus sous ce rapport. Les Allemands furent les premiers à être dotés d'un matériel spécial dont la puissance, les premiers temps, était d'ailleurs modérée. De part et d'autre, on fit de grands efforts pour augmenter la valeur militaire de ces engins auxquels on demandait un grand rayon d'action pour pouvoir aller au loin porter la destruction dans les zones ennemies, et une grande capacité de transport pour emporter un poids considérable de projectiles.

Comme au début ils n'opéraient que la nuit, on put se dispenser de leur donner un plafond élevé; d'autre part, l'obscurité les rendait difficilement attaquables par les escadrilles de l'adversaire.

C'est à partir de 1917 que les deux armées adverses furent pourvues de flottes aériennes de bombardement dont la puissance ne fit que s'accroître. Malheureusement, au point de vue des destructions dans les zones d'arrière, les Allemands étaient beaucoup mieux placés que nous, car la capitale de la France n'a jamais été, sauf pendant les derniers mois de la guerre, à plus de 80 km du front, quelquefois à 40. C'était donc pour les avions allemands une question de minutes pour arriver au-dessus de Paris. Au contraire, Berlin était inaccessible à nos escadrilles aériennes et nous ne pouvions essayer de détruire que des centres d'une importance secondaire. Mais, indépendamment des bombardements de villes qui naturellement impressionnèrent plus que tous les autres le grand public, les escadrilles de bombardement firent de part et d'autres de nombreuses opérations contre les dépôts de munitions, les magasins, les chemins de fer, les usines de guerre qui n'étaient pas très éloignés du front et, sous ce rapport, après avoir été inférieurs à nos adversaires, nous prenions peu à peu la supériorité que nous possédions nettement à la fin des hostilités. Nous préparions même des avions de bombardement de jour. Ceux-ci devaient naturellement posséder les qualités exigées des appareils de bombardement nocturne, mais ils devaient en outre avoir un plafond très élevé pour échapper aux coups de l'adversaire; c'était donc ceux dont la réalisation était la plus difficile, car ils devaient posséder toutes

les qualités requises : puissance de transport, rayon d'action et plafond élevé. Leur vitesse, tout en étant considérable, devait être inférieure à celle des avions de chasse ; il était d'ailleurs entendu que ceux-ci devaient les escorter et les défendre au besoin. Nous avions déjà réalisé quelques unités et il n'est pas douteux que si les hostilités avaient continué nous eussions été en mesure de mettre en ligne une flotte redoutable de bombardement.

Deux chiffres peuvent donner une idée de l'importance croissante prise



Avion Bréguet-Rateau, 1918.

par le bombardement aérien pendant les derniers temps de la guerre. Ces opérations ne commencèrent sérieusement qu'en 1917. *Pendant tout le cours de cette année,* nous lançâmes sur l'ennemi 642 t de projectiles; au moment de l'armistice, nous étions à même de lancer du haut des airs 1 000 t de projectiles, non plus par an, mais *par nuit,* et nous avions su que nos adversaires n'étaient pas en état de nous répondre par des bombardements de même efficacité.

Avant d'aller plus loin, permettez-moi de mettre sous vos yeux quelques photographies d'avions de guerre.

(Projections : avions de 1916 : Nieuport, Morane, Spad, Farman, Sopwich,

Bréguet, Voisin, Caudron, Rumpler. — 1917 : Spad, Morane-Saulnier. — 1918 : Gourdou, Salmson, Nieuport, Farman, Bréguet-Rateau, Caudron, Voisin, Blériot, Vickers, Sopwich, Caproni, Albatros, Rumpler, Fokker, Gotha.)

Sans qu'il m'ait été possible d'insister sur ce point, vous avez certainement deviné quelles durent être l'audace, l'endurance, l'héroïsme de nos aviateurs militaires et c'est avec raison qu'ils ont joui en France d'une



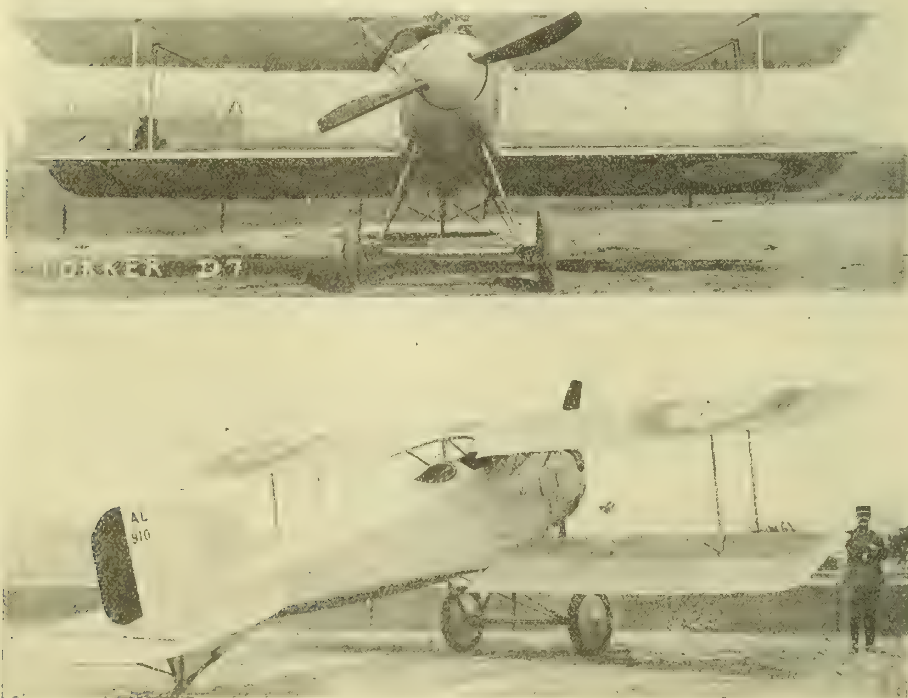
Avion Voisin, 1918.

popularité sans égale. Tous s'étaient attachés à ce genre de guerre, inconnu jusqu'à ces dernières années, et tous en avaient découvert et apprécié le côté chevaleresque et poétique. Pareils aux chevaliers du moyen âge qui ornaient leurs écus d'emblèmes héraldiques, nos aviateurs avaient adopté pour chaque escadrille des emblèmes distinctifs dont quelques-uns constituaient de véritables armes parlantes, et dont tous révélaient à leur manière l'intrépidité et parfois la gaieté françaises.

(Projections d'emblèmes d'escadrille : Nungesser, de Rose, escadrille Lafayette, Vuillemin, escadrille de bombardement, Guynemer.)

Tous les progrès accomplis par les avions pendant la durée de la guerre n'auraient pu être réalisés si on n'avait pu leur fournir des moteurs de plus en plus parfaits. Mais le temps me manque pour traiter cette question qui, à elle seule, exigerait une conférence entière. Je me bornerai à quelques indications.

Ainsi que je le rappelais, il y a quelques instants, les moteurs des aéroplanes de 1908 étaient tangents, c'est-à-dire strictement suffisants pour permettre le vol horizontal dans des conditions atmosphériques favorables. Avec



Avion allemand Fokker, 1918.

de tels engins, on ne pouvait ni augmenter sa charge, ni s'élever à une hauteur notable, ni lutter contre les caprices, ou simplement les modifications de densité de l'air.

Dans les années qui suivirent, on vit les aéroplanes s'élever à plusieurs centaines, puis à plusieurs milliers de mètres. Ils volaient à toute heure du jour et paraissaient se soucier de moins en moins des changements du baromètre et du thermomètre; les variations inopinées du vent en vitesse et en direction ne les trouvaient pas désarmés et, suivant l'expression alors consacrée, *ils se défendaient.*

En 1910, ou 1911, en exposant ici même les progrès accomplis en avia-

tion depuis 1908, j'exprimais l'opinion que le secret de ces progrès tenait en deux mots : le moteur surabondant. Les événements ont depuis confirmé cette manière de voir. La surabondance ou l'excès de puissance des moteurs qui se chiffrait, il y a dix ans, par un nombre supérieur à l'unité, mais inférieur à 2, atteint maintenant le chiffre de 3 au départ, et lorsque après avoir consommé son approvisionnement d'essence et d'huile l'appareil revient à terre, il dispose alors d'un excès de puissance qui peut atteindre 5, c'est-à-dire qui a 5 fois la puissance strictement nécessaire pour le vol horizontal au niveau du sol. C'est cet excès de puissance qui permet d'atteindre les plafonds élevés dont je viens de parler.

Lorsqu'on veut se faire une idée de la valeur d'un aéroplane au point de



Emblème de l'avion de Guynemer (escadrille des Cigognes).

vue du vol, on peut tenir compte de nombreuses circonstances et on peut se faire une idée d'ensemble en envisageant les deux caractéristiques : le plafond et la vitesse. La valeur d'un appareil peut être exprimée par le produit de ces deux nombres. Des considérations techniques, confirmées par l'expérience, ont amené à prendre comme vitesse celle que réalise l'appareil à une altitude inférieure de 2.000 m à celle du plafond théorique.

Ainsi que nous l'avons vu tout à l'heure, l'excès de puissance d'un moteur ne dépend pas seulement de la puissance du moteur embarqué, mais aussi de la perfection des formes de l'aéroplane. Cette perfection se traduit par un chiffre auquel on a donné le nom de finesse et qui est le rapport entre la force de traction et le poids de l'appareil. Comme nous l'avons vu, on obtient couramment une finesse de 0,20 et sans trop de difficulté on descend à 0,14; on ne désespère pas d'arriver à 0,10, c'est-à-dire à réduire la force de traction de l'hélice au 1/10 du poids total de l'appareil.

Si on rapproche ces chiffres de l'excès de puissance motrice qui peut atteindre 5, on entrevoit le moment où il sera possible de réaliser pratiquement l'hélicoptère, c'est-à-dire d'obtenir des hélices exerçant un effort de

traction égal au poids même de l'appareil. Depuis longtemps, on est convaincu des avantages pratiques que présenterait l'hélicoptère dont la sustentation serait assurée indépendamment de la vitesse horizontale, ce qui permettrait les départs et les atterrissages dans des terrains d'étendue limitée.

Je m'arrête. Mais, avant de terminer, je veux combattre un préjugé très répandu aujourd'hui. Beaucoup de personnes pensent que l'aviation n'est qu'un engin de guerre et que ses applications du temps de paix ne présentent qu'un intérêt médiocre.

Inutile de vous dire que je suis d'un avis complètement opposé. Mais le temps me manque pour développer cette question. Je veux simplement vous convaincre qu'en se plaçant au seul point de vue de la défense nationale, il est indispensable de développer le plus largement possible notre aviation civile. La paix est signée avec l'Allemagne, mais tout le monde est persuadé que nos ennemis d'hier ne demandent qu'à redevenir nos ennemis de demain. Ils n'attendent pour cela que d'être les plus forts.

Pendant la période qui s'est écoulée de 1871 à 1914, nos belles troupes de frontière et en particulier le 20e corps, que le général Bailloud a si brillamment commandé, étaient constamment en alerte. J'ai vu souvent de nos camarades des garnisons de l'Est bien convaincus qu'en cas de guerre ils verraient la cavalerie allemande sur notre territoire avant d'avoir été informés officiellement de l'ouverture des hostilités.

Dans la prochaine guerre, que je souhaite aussi lointaine que possible, rien ne prouve qu'il n'en serait pas ainsi, mais probablement sous une autre forme. Nous apprendrions la guerre, non par l'apparition de quelques cavaliers, mais par le fracas des bombes lancées du haut des airs en pleine nuit, ou en plein jour, sur la capitale et sur toutes nos grandes villes. Je ne voudrais pas être un prophète de malheur; mais, pour éviter pareille éventualité, toutes les prescriptions de limitation d'armement contenues dans les traités seront inefficaces. A mon avis, il n'y a qu'une seule protection possible : c'est d'inspirer à nos adversaires la conviction que, s'il leur arrivait de procéder contre nous à une attaque aérienne brusquée, nous serions en mesure de la leur rendre dans un délai de quelques heures, avec une intensité beaucoup plus grande. Or, pour atteindre ce résultat, il y a deux moyens : ou bien entretenir à grands frais une flotte aérienne de bombardement ne rendant aucun service pendant la paix et simplement prête à tout événement, ou bien avoir une aviation civile puissante, comportant de nombreux aéronefs à grande capacité de transport qu'il serait possible de transformer en peu de temps en avions de bombardement. Comme cette flotte civile rendra d'importants services en temps de paix, l'argent que l'on dépensera pour son orga-

nisation et, dans le début, pour lui permettre de vivre, ne sera pas mal employé, car ce sera une assurance pour la sécurité nationale, assurance qu'il faudrait payer beaucoup plus cher en ne comptant pour la réaliser que sur les avions militaires.

Permettez-moi maintenant de vous remercier de l'attention soutenue que vous avez bien voulu me prêter pendant cette longue conférence. J'espère qu'après avoir admiré les progrès accomplis en aéronautique au cours des hostilités, vous sortirez d'ici avec la persuasion que la France doit à tout prix s'assurer la maîtrise de l'atmosphère et, à cet effet, ne ménager aucun effort pour posséder une flotte aérienne nombreuse et puissante. Je ne crois rien exagérer en disant que c'est pour notre pays une question de vie ou de mort.

LE SERVICE DE L'INTENDANCE PENDANT LA GUERRE 1914-1918.

Le problème de la réunion des ressources nécessaires aux armées (1).

Messieurs,

Les armées modernes comprennent deux éléments principaux, que nous distinguons en France par les noms caractéristiques de « troupes » et de « services ». Les *troupes* ont dans la bataille le rôle glorieux de lutter contre l'ennemi. Les *services*, constitués par des personnels dont la mission, beaucoup plus modeste, est une simple mission d'utilité, sont chargés de pro–

(1) Conférence faite par l'auteur en séance publique le 27 novembre 1920.

curer aux troupes tout ce qui leur est nécessaire pour combattre et pour subsister.

Pour pouvoir remplir leur mission, les services se tournent vers les forces économiques de la nation qui en agissant, soit par leur capacité de production directe, soit par leur capacité d'échange (dans le cas de l'importation), vont fournir à l'armée ce qui lui est nécessaire pour défendre la patrie. Les forces économiques d'un pays entrent donc en guerre en même temps que lui ; il y a dans tout conflit une lutte économique qui accompagne la lutte armée et lui sert de support puisqu'elle lui fournit les moyens matériels d'action.

Il est toujours instructif d'étudier, après un conflit, comment l'organisme économique d'une nation a réagi pour surmonter la crise causée par une guerre. L'intérêt de cette étude n'a pas échappé à votre Société, qui a toujours eu de son rôle une notion si clairvoyante et si utile. Vous possédez dans vos archives, notamment sur la période du Premier Empire, de très précieux renseignements.

La grande guerre que nous venons de vivre est maintenant l'objet de votre attention avertie et vous poursuivez votre documentation en interrogeant d'une part, des producteurs, d'autre part, des représentants des services de l'armée, c'est-à-dire ceux qui ont fourni l'effort et ceux qui l'ont provoqué. A ce titre, vous avez désiré entendre un représentant du Service de l'Intendance.

C'est ainsi qu'à la suite d'une démarche de votre président, j'ai été avisé par mes chefs d'avoir à me mettre en relations avec M. Lindet. J'ai considéré comme une véritable bonne fortune l'occasion qui m'était offerte d'approcher le savant dont vous venez d'entendre le si juste éloge (1). Je me permettrai d'ajouter à ce qui vient d'être dit, que les remarquables travaux de M. Lindet sur la panification sont classiques dans l'Intendance. Ils nous ont permis de perfectionner la technique de nos boulangeries militaires, donc de mieux remplir notre mission vis-à-vis de l'armée pendant la guerre.

M. Lindet m'a accueilli avec cette affabilité dont il a le secret. Il m'a assuré, pour calmer mes appréhensions, que je trouverais ici un auditoire plein d'une bienveillance dont je mesure toute la nécessité, et, profondément sensible à l'honneur qui m'était fait, j'ai accepté l'invitation qui m'était adressée avec tant de cordialité.

(1) Voir dans le compte rendu de la séance du 27 novembre 1920, les paroles adressées par M. Baclé à M. Lindet, à l'occasion de la fin de sa présidence (*Bulletin* de novembre-décembre 1920, p. 979 à 984).

I. — Cadre et plan général de l'exposé.

Je voudrais m'efforcer tout d'abord de délimiter mon exposé. Pour cela il me paraît essentiel en premier lieu de préciser les attributions exactes du Service de l'Intendance. On subit trop souvent à son sujet la tyrannie du mot et des souvenirs historiques. Le temps est passé où Richelieu confiait aux intendants qu'il venait de créer les pouvoirs civils et militaires les plus étendus et notamment, en ce qui concerne l'armée : la levée, l'organisation, le licenciement des milices, le service de la maréchaussée, les hôpitaux, le logement, etc.

Dans nos armées modernes, aux besoins formidables et complexes, il a fallu pratiquer la division du travail et spécialiser les services.

Exemples : Les Services de l'*Artillerie* (munitions, armes, etc.) et du *Génie* (matériel de fortification, construction) sont dirigés chacun par des officiers momentanément détachés de ces armes;

Le Service de *Santé* est dirigé par les médecins militaires (soins à donner aux blessés et aux malades et questions d'hygiène), etc.

Tous ces services sont placés vis-à-vis les uns des autres sur un pied complet d'égalité, le commandement étant chargé de coordonner leur action soit entre eux, soit avec les troupes. Dans cet ensemble de services, la tâche de l'Intendance est limitée au ravitaillement des armées, d'une part, en denrées et matières des *subsistances* (nous classons sous cette rubrique réglementaire les vivres, les fourrages et tous les combustibles, bois, charbon, essence, etc.), d'autre part, en matériel et en effets *d'habillement, d'équipement et de couchage.* Ce sont naturellement de ces deux seules catégories de ravitaillement que je vous entretiendrai aujourd'hui.

Pour terminer d'encadrer mon étude, j'ajouterai que je n'examinerai pas le cycle complet des opérations du ravitaillement, ce qui m'entraînerait à suivre les denrées ou les matières depuis le moment où on les produit jusqu'au moment où on les remet aux soldats consommateurs.

Ce cycle comprend, en effet, deux périodes bien distinctes : la réunion des ressources et leur distribution. Le problème de la distribution est d'ordre purement militaire et je me contenterai d'en indiquer très sommairement les données et la solution.

Il s'agit, en somme, de combiner les déplacements d'approvisionnements avec les déplacements de troupes, de telle sorte que celles-ci, malgré leurs mouvements souvent inopinés, reçoivent ce qui leur est nécessaire en quantité voulue et en temps opportun.

La tâche est complexe et on n'arrive à la mener à bien avec les énormes

effectifs actuels, que grâce à l'outil souple et puissant que représentent les chemins de fer. Je me permets de rappeler les principes du système, d'ailleurs bien connus : les approvisionnements destinés aux armées sont groupés dans de vastes entrepôts raccordés à la voie ferrée que l'on appelle selon le cas : *stations-magasins*, *entrepôts d'effets*, *centres d'essence*, *centres d'habillement*. Ces établissements expéditeurs sont organisés, *dès le temps de paix*, dans des régions que l'on suppose être suffisamment loin des atteintes de l'ennemi probable. C'est ainsi qu'en 1914 ils étaient répartis sur une ligne allant de Rouen à Besançon, par Orléans.

D'autre part, dès que les armées arrivent sur leur théâtre d'opérations, on choisit en arrière d'elles un certain nombre de gares, dites *gares régulatrices*, placées à des distances variables du front (mettons 60 à 80 km pour fixer les idées), en des points de croisements de voies importants. On y installe des commissions, dites commissions régulatrices, composées d'un ingénieur des chemins de fer et d'un officier supérieur d'état-major. Ces commissions sont chargées de régler le mouvement des trains, depuis les établissements expéditeurs jusqu'à la gare régulatrice et depuis la gare régulatrice jusqu'aux gares situées à proximité des troupes et où celles-ci viennent en prendre livraison (*gares* dites *de ravitaillement*).

Ceci posé, on conçoit qu'il est possible aux commissions régulatrices, tenues par le commandement au courant des besoins des troupes et de leurs emplacements, de faire converger sur les gares régulatrices des trains de denrées ou de matériel et de les aiguiller en fin de parcours sur leur destination définitive. Le schéma de la figure 1 indique les *courants de ravitaillement* qui convergent sur une gare régulatrice; j'y ai figuré également les contre-courants, dits *courants d'évacuation*, qui ramènent vers l'arrière le matériel inutile aux troupes et pourtant susceptible d'un nouvel usage, tels que récipients vides, bidons d'essence, fûts, effets à réparer, etc.

En somme, les gares régulatrices nous apparaissent comme de véritables pompes aspirantes et foulantes qui puisent des ressources dans des réservoirs placés à l'intérieur du pays et les refoulent ensuite vers les armées.

Reste à maintenir ces réservoirs à un niveau suffisant, et pour cela à diriger sur eux des courants de réapprovisionnement. J'ai indiqué également sur mon schéma cette troisième catégorie de courants en les figurant par des signes différents, suivant qu'ils proviennent de la production nationale ou de l'importation. Créer et entretenir ces courants constitue le problème de la réunion des ressources qui sera l'objet de mon étude.

J'examinerai successivement les données générales du problème, puis les solutions particulières qu'il a comportées dans les deux grandes branches du Service de l'Intendance : subsistances et habillement.

SERVICE DE L'INTENDANCE EN TEMPS DE GUERRE

LA RÉUNION DES RESSOURCES

GARE RÉGULATRICE

Effets usagés en retour
Effets neufs
Hommes de renfort habillés à neuf
Hommes de renfort habillés à neuf
Entrepôt d'effets
Récupération
Effets neufs
Effets neufs
Réserve gén. d'effets
Effets neufs
Effets neufs
1re Région
2e Région
Magasin d'habillement de Région
Magasin d'habillement de Région
Linge
Casques
Effets chauds etc
Confectionneurs divers
Matières premières
toile
fil, laine
Coton etc
Equipement et chaussures
Effets de drap
Dépôts des corps
Effets neufs
Effets neufs
confectionneurs effets de drap
Equipement et chaussures
Confectionneurs Equip. chaussures
Effets de drap
Couvertures etc.
Linge
Casques
Effets chauds
Confectionneurs divers
toile
fil
laine, coton
Matières premières

Denrées d'ordinaire, légumes frais
Centre de Denrées d'ordinaire Légumes frais
Confitures
Confiturerie
Achats aux Halles ou dans le commerce
Pain, Sucre, Café, Sel, Légumes secs, Pommes de terre, Vin, Lard, Vivres de réserves, Bétail, avoine, foin, combustibles, Tabac
Futailles et sacs en retour
Issues des centres d'abat
Centre de récupération
Bidons en retour
Farine - Conserves de viande - Avoine - Café - Sucre - Rhum
Farine
Avoine, Café
Vin
Maïs, Orge, Pommes
Potages salés, café, tabac
Pain de guerre
Farine
Foin pressé
Bétail
Conserves de viande
Tabac
Bois
Sel
STATION-MAGASIN
Essence
Charbon
Charbon
Matériel des subsistances, fours démontables etc
Viande frigorifiée
Essence
Essence
Centre houiller
Atelier de Vincennes
Établissements frigorifiques
Centre d'essence
Entrepôt frigorifique
Réserve d'essence
Charbon
PORT TRANSIT
Marais salants
Forêts
Entrepôt de Tabac
Usines de conserves de viande
Parc de groupement

Fig. 1.— La réunion des ressources

Centre de tannage
Matières tannantes
Abattoirs
Tanneurs
Cuirs tannés
Cuirs verts
Gestion du Centre de tannage
Cuirs verts (France)
Cuir tanné
Cuir tanné
Confectionneurs Equipement et chaussures
clous, fil, etc
aiguilles
Atelier de Coupe
Drap
Cuirs verts, Matières tannantes (Importation)
Centre de drap
Gestion du Centre de Drap
Drap
drap
Tisseurs filateurs
Laine à filer
Centre de lavage
Laine de France
Collecteurs
Groupes de moutons
Commis de réception
Laine brute (Importation)
Charbon, Fécule, Matières color., etc
Confectionneurs effets de drap
aiguilles, fil, etc
s, clous, fil, etc
Atelier de Coupe
Toile coton
Toile coton, Couverture (Importation)
TRANSIT MARITIME
PORT
HABILLEMENT & CAMPEMENT
Blé, Avoine, etc... (Importation)
Moulin
station magasin de
Blé (Importation)
...re, Riz, Haricots, Lard, Conserves de viande, Rhum, Maïs, Orge, (Importation)
Vin
Entrepôt de Vin
Vin
...de terre, Sucre, Légumes secs, Lard, Avoine, Paille.
Usines Potage salé Café tablettes
Moulin
Pain de guerre
Blé
Foin
Bétail
Bétail
RAVITAILLEMENT NATIONAL
SUBSISTANCES
Vivres - Fourrages - Combustibles

...le l'Intendance en temps de guerre.

II. — Données générales du problème.

Les données générales du problème résident essentiellement dans la situation économique où s'est trouvé le pays pendant le conflit.

Dans un milieu aussi averti que celui de votre compagnie, cette situation est connue. J'en rappellerai donc les éléments essentiels à titre de simple memento.

Dès le début des hostilités, l'invasion de nos riches régions du Nord est venue réduire considérablement nos ressources nationales tant au point de vue agricole qu'industriel; sur le reste du territoire, la production agricole est allée continuellement en décroissant par suite du manque de main-d'œuvre et d'engrais. Quant à la production industrielle, d'abord désorganisée par le départ des ouvriers et surtout des ingénieurs et des spécialistes, elle a pu, après reconstitution, reprendre un vigoureux essor; mais, à la fin des hostilités, elle fut à nouveau paralysée par le manque de main-d'œuvre, de matières premières et par la crise des transports intérieurs.

Pour suppléer à la production nationale, non seulement l'Intendance, mais tous les services de l'armée, tous les services publics et le commerce privé, se sont tournés vers l'importation. De ce côté, les événements de guerre avaient eu aussi, dès le début, pour conséquence de restreindre nos moyens d'action. L'entrée en ligne contre nous de la Turquie, puis de la Bulgarie, nous avait privés des ressources de la région du Danube et de l'Asie Mineure, elle avait rendu très précaires nos communications avec la Roumanie et la Russie, d'où une grande gêne pour le ravitaillement en blé, haricots, lin, essence, etc. Malgré cette gêne, le reste du monde nous offrait encore un vaste champ d'exploitation, mais alors se sont élevées des difficultés particulièrement graves :

a) Des difficultés de transit maritime : nos ports se sont révélés insuffisants pour recevoir nos importations : insuffisance des quais, des moyens de déchargement, des voies ferrées de dégagement sur l'intérieur;

b) Des difficultés de crédit : notre balance commerciale est arrivée à se solder par un déficit de 20 milliards, en 1918;

c) Des difficultés de fret, conséquences de la guerre sous-marine, qui ont atteint leur maximum en 1917 : des documents officiels constatent qu'en septembre 1917, alors que la France aurait eu besoin, pour assurer les importations essentielles à l'entretien de ses armées et à la vie générale du pays, d'une flotte de 7 millions de tonnes, elle ne disposait tant en bâtiments nationaux qu'en bâtiments étrangers, que de 3.500.000 tonnes. C'est

l'époque où, suivant l'énergique expression américaine, « le bateau a commandé le dollar ».

Ces difficultés ont dicté au Service de l'Intendance sa ligne de conduite générale pendant la guerre. Sauf pendant les premiers mois du conflit, où il a dû courir au plus pressé et importer dans une large mesure, il s'est efforcé ensuite de réduire ses importations au minimum en exploitant à fond les ressources nationales.

Pour atteindre ce but, il s'est efforcé d'agir autant que possible dans le cadre des organisations industrielles et commerciales du pays; de s'entourer de conseillers techniques pris parmi les professionnels; de tenir compte des intérêts des particuliers tout en défendant ceux de l'État; de faire appel, avant tout, à la bonne volonté et de n'employer la réquisition que lorsque des exigences injustifiées de la part du producteur la rendaient nécessaire.

Les principes d'action que je viens de définir, le Service de l'Intendance ne les a appliqués, bien entendu, que dans la mesure où l'autorité gouvernementale, dont il ne peut être que l'exécutant, lui en laissait l'initiative. A ce point de vue, il faut distinguer plusieurs périodes pendant la guerre. Au début, le Service de l'Intendance est resté rattaché au Ministère de la Guerre seul, secondé à partir de 1915 par un Sous-Secrétariat d'État du Ravitaillement et de l'Intendance. Il a disposé d'une très large liberté d'action. Cette situation a duré jusqu'à la fin de 1916. A ce moment-là, un nouvel élément est intervenu : la nécessité est apparue d'organiser complètement le ravitaillement de la population civile, car la famine était à nos portes. Deux solutions se présentaient : on pouvait considérer le pays comme une place assiégée et charger l'autorité militaire de pourvoir aux besoins de tous; il aurait suffi pour cela de développer les organisations du Service de l'Intendance déjà existantes et qui, depuis le début de la guerre, étaient déjà intervenues à maintes reprises pour venir en aide à un service spécial de ravitaillement civil fonctionnant au Ministère du Commerce. On pouvait d'autre part créer un ravitaillement général pour l'ensemble de la nation, organe civil vis-à-vis duquel l'armée ne jouerait plus que le rôle de simple consommateur.

C'est cette deuxième solution qui a prévalu dans les conseils du Gouvernement. Dès lors, le Service de l'Intendance s'est fractionné. Une partie est restée rattachée au Ministère de la Guerre pour continuer à y assurer tout ce qui concerne l'habillement. Nous avons, par suite, gardé la haute main sur cette branche du service. L'autre partie est passée aux ordres des départements ministériels qui ont été chargés du ravitaillement général et qui ont été : d'abord le Ministère du Ravitaillement général et des

Transports, puis, à partir de novembre 1917, le Ministère de l'Agriculture et du Ravitaillement avec un sous-secrétaire d'état du Ravitaillement.

A partir de ce moment, les organes divers du Service de l'Intendance chargés des subsistances ont bien gardé l'organisation générale qu'ils avaient précédemment; de nombreux fonctionnaires de l'Intendance ont bien été appelés dans les bureaux des nouveaux ministères, mais la direction d'ensemble et les décisions importantes leur ont échappé.

Cette différence dans l'historique du service des subsistances et du service de l'habillement, en dehors même de la nature très différente de ces services, est une des raisons qui m'ont amené à les séparer dans mon exposé.

III. — Le service des subsistances.

1. — Prévisions d'avant-guerre.

Reportons-nous à la situation au début des hostilités. La préparation à la guerre du Service de l'Intendance avait été basée sur les prévisions suivantes :

Nous avions déterminé, en nous basant sur l'expérience des guerres antérieures et sur les données scientifiques plus récentes de la valeur énergétique des aliments, en tenant compte aussi des habitudes alimentaires de l'ensemble de la nation — en choisissant, pour économiser les transports, des denrées nourrissantes sous un petit volume, nous avions déterminé, dis-je, la qualité et la quantité des denrées à distribuer aux troupes pour qu'elles puissent supporter les fatigues de la campagne. Nous avions ainsi établi la composition et le taux de nos rations de vivres, ainsi que ceux des rations de fourrages pour les chevaux.

Ce premier travail arrêté, et en multipliant nos rations par les effectifs des armées en campagne, nous étions fixés très approximativement sur les besoins à satisfaire.

D'autre part, nous étions décidés, pour éviter le plus possible les transports inutiles, à exploiter par achat ou par réquisition la zone d'opérations. Cette zone nous était déterminée géographiquement d'une manière très suffisante, puisque notre préparation s'effectuait sous la menace d'un agresseur qui n'était que trop connu.

Partant de ces éléments, nous nous étions arrêtés aux règles suivantes : les établissements expéditeurs devaient être approvisionnés de manière à pouvoir expédier chaque jour sur les armées et pour la totalité de leurs effectifs : du pain, des légumes secs, du sucre, du café, du sel, du lard et de l'avoine, c'est ce qu'on appelait le *ravitaillement quotidien*. (Ceci représentait,

on le voit, sauf la viande pour les hommes et le foin pour les chevaux, de quoi assurer un minimum d'alimentation.)

Comme nous ne voulions pas être à la merci d'un déficit fortuit de ces dernières denrées dans la zone d'opérations, nos stations-magasins devaient être en mesure d'expédier aussi, mais sur demande seulement, du bétail sur pied et du foin : c'est ce que nous appelions, par différence avec le ravitaillement quotidien, le *ravitaillement éventuel*.

SERVICE DES SUBSISTANCES

ENVOIS MENSUELS DE L'ARRIÈRE AUX ARMÉES DU FRONT NORD-EST EN 1918.

	FOURNITURE PRÉVUE AVANT LA GUERRE		FOURNITURE NON PRÉVUE AVANT LA GUERRE	
	Denrées.	Quantités.	Denrées.	Quantités.
Ravitaillement quotidien.	Farine pour le pain. (Quint.)	360.000	Chocolat. . . (Quint.)	4.000
	Sucre . . . . —	38.000	Vin . . . . . (Litres.)	760.000
	Café. . . . . —	24.000	Pommes de terre . . . (Quint.)	250.000
	Sel . . . . —	20.000	Paille . . . . —	450.000
	Légumes secs . . . —	75.000	Combustible (bois, charbon) . . . —	450.000
	Lard ou graisse . . —	25.000	Vins fins . . (Bout.)	3.000.000
	Avoine . . . . . . —	1.000.000	Confiture . . (Quint.)	2.884
Ravitaillement éventuel devenu en fait presque entièrement quotidien.	Pain de guerre. . . —	10.000	Fromage . . —	5.000
	Conserve de viande. —	12.000	Légumes frais. —	15.000
	Viande (1) . . . . . —	250.000	Œufs frais.	300 wagons environ.
	Foin. . . . . —	500.000	Conserves de légumes.	
	Eau-de-vie. . . . . (Litres.)	18.000	— de fruits. .	
	Essence, pétrole, huile de graissage. —	420.000	Sardines.	
	Tabac . . . . (Quint.)	15.000	Thon, etc.	

(1) Bétail sur pied ou viande frigorifiée.

A ces deux premières catégories d'approvisionnements de nos stations-magasins, nous avions ajouté, de manière à être aussi en mesure d'en envoyer aux armées quand elles en feraient la demande (c'est-à-dire encore au titre de *ravitaillement éventuel*), de l'essence, de l'eau-de-vie, du pain de guerre (le biscuit bien connu) et de la viande de conserve. Ces deux dernières denrées font partie, on le sait, de ce que nous appelons les vivres de réserve. Le soldat doit avoir toujours sur lui deux jours de cette catégorie de vivres qui lui permettent de subsister si des circonstances de guerre empêchent les voitures qui lui apportent les vivres normaux d'arriver

jusqu'à lui. Comme ces vivres sont appelés à séjourner parfois assez longtemps dans le paquetage de l'homme, il faut qu'ils soient suceptibles d'une conservation de longue durée, d'où le type biscuit et conserve de viande qu'on a été amené à adopter.

En résumé, avant la guerre, nous avions estimé que nos établissements expéditeurs devaient être munis des approvisionnements suivants : pain, légumes secs (haricots, riz), sucre, café, sel, lard, pain de guerre, conserve de viande, eau-de-vie, bétail sur pied, avoine et foin, essence. Cette liste était limitative. (Voir colonne de gauche du tableau ci-dessus.) (1)

Dès le temps de paix, nous avions une certaine avance de ces matières dans nos stations-magasins (sauf pour le bétail sur pied) : c'étaient nos approvisionnements de mobilisation et nous avions préparé un système de réunion des ressources qui nous permettait de maintenir ces approvisionnements à hauteur si les hostilités venaient à s'ouvrir.

Ce système portait le nom de ravitaillement national.

2. — Le ravitaillement national.

Quelles étaient les idées fondamentales du ravitaillement national? Pour les saisir, il est indispensable de se reporter à l'époque où ce système a été imaginé par un sous-intendant militaire employé à ce moment-là au Ministère de la Guerre, soit entre 1885 et 1890.

A cette époque, l'entente cordiale n'existait pas, la France n'avait aucunement la certitude d'avoir la liberté des mers en cas de guerre contre son voisin de l'Est. Elle devait donc chercher à se suffire à elle-même. La solution était-elle possible?

Reprenons pour nous en rendre compte la liste des fournitures nécessaires aux troupes. Si nous en supprimons l'essence (qui n'entre pas en ligne de compte en 1890), nous voyons que, sur cette liste, seuls le café et le riz ne sont pas produits par le territoire national. Mais il y a toujours dans nos grands ports de commerce et surtout au Havre des quantités considérables de café sur lesquelles on peut toujours mettre la main au moment du besoin. Il en est de même pour le riz, que l'on peut d'ailleurs remplacer le cas échéant par des haricots, des fèves, etc. Toutes les autres denrées sont cultivées sur le sol français, dont les récoltes sont, en période normale, suffisantes pour la consommation de la population tout entière.

(1) Nous estimions, par conséquent, que la zone des opérations pouvait nous donner en totalité le combustible, la paille de couchage — et quelques denrées supplémentaires (légumes frais, épicerie, etc.). L'Intendance laissait le soin de se procurer celles-ci aux corps de troupe, opérant par achats dans le commerce local à l'aide de fonds spéciaux mis à leur disposition : les fonds de « l'ordinaire ».

Comme la mobilisation n'augmente pas le nombre des consommateurs, mais les déplace seulement, il est donc théoriquement possible, sauf dans le cas de mauvaise récolte, de ravitailler les armées avec les seules ressources du pays. Mais ces ressources sont réparties sur tout l'ensemble du territoire; il s'agit presque uniquement de denrées agricoles se trouvant dans tous les villages, dans toutes les fermes. En temps normal c'est par le jeu de l'offre et de la demande qu'elles arrivent au consommateur. Que substituer à ce mécanisme naturel pour les diriger sur la frontière? Toute la difficulté est là.

S'adresser au commerce privé? Quels sont les négociants sérieux qui vont consentir à s'outiller pour être prêts à exécuter une opération aussi délicate, dès le télégramme de mobilisation et alors que va s'ouvrir une crise économique apparaissant aux yeux de tous comme une inconnue redoutable?

D'autre part, qu'elles vont être les tendances de notre paysan à la mobilisation? Il est avisé et prudent : il va se rendre compte que les plus solides travailleurs et les meilleurs attelages étant partis pour l'armée, la production va diminuer et les prix monter, donc qu'il est avantageux et sage (dans l'incertitude de ce que sera la « saison nouvelle ») de garder des réserves.

Si on envoie des acheteurs militaires dont le nombre et les moyens d'action en véhicules et manutentionnaires devront d'ailleurs être considérables, au détriment des effectifs des armées, on risque de voir les greniers se fermer jalousement à l'approche de ces inconnus en uniforme. Si on veut réquisitionner, le remède sera pire que le mal. La Convention, malgré sa sauvage énergie, a bien obtenu la levée en masse des soldats, mais l'histoire enregistre ses échecs en matière de coercition économique.

C'est en s'inspirant de ces considérations que l'auteur du Ravitaillement national a établi le système que voici.

D'abord, il faut connaître aussi exactement que possible, et, commune par commune, ce qui existe à toute époque de l'année sur le territoire. C'est une question de statistique; elle demande pour être établie la participation d'un grand nombre de compétences. On confie le soin de la dresser à un comité appelé *comité de ravitaillement départemental*, que préside le préfet et qui groupe : les directeurs des services agricoles et professeurs d'agriculture renseignés sur la production; des fonctionnaires des finances, des agents du fisc, des représentants des entreprises de transport, des gros commerçants renseignés sur la circulation et la consommation, et enfin, un officier d'état-major et le sous-intendant militaire du chef-lieu du département : celui-ci, simple membre de l'assemblée, doit avoir l'activité, la compétence et le tact nécessaires pour être la cheville ouvrière du comité. En fait, ce sont le directeur des services agricoles et le sous-intendant qui font la plus grande partie du travail.

Le comité centralise les renseignements qui sont établis par commune; il les synthétise sous forme de courbes qui font ressortir (en tenant compte des besoins présumés de la population civile locale) les quantités de denrées qui peuvent être considérées comme disponibles, pour être exportées du département à une époque quelconque de l'année. — Evidemment, ces courbes passent toutes par un minimum à la soudure entre les deux récoltes.

Les travaux de tous les comités départementaux sont centralisés chaque année au Ministère de la Guerre par la Direction de l'Intendance. Celle-ci se base, pour éviter tout mécompte, sur les minima des courbes. Puis elle répartit les départements par rapport aux stations-magasins (et aussi aux places fortes) à ravitailler, règle les quantités et les dates des expéditions à faire sur les points choisis, après s'être entendue, naturellement, avec l'État-Major de l'Armée qui a la haute main dès le premier jour de la mobilisation sur tous les transports. Ce travail une fois terminé et arrêté, constitue le *plan de ravitaillement*. Chaque département en reçoit un extrait en ce qui le concerne.

Ce qu'il faut maintenant, c'est réaliser un système permettant de réunir les contingents imposés au département et de les expédier à la date fixée; voilà le point capital, sinon notre plan de ravitaillement n'aura de la valeur que sur le papier. On adopte la solution suivante qui mérite de retenir l'attention : le département sera divisé en un certain nombre de circonscriptions portant le nom de *circonscriptions de groupement* et comprenant un certain nombre de communes; la circonscription aura un centre dit *centre de réception*, lequel sera situé en un point desservi par la voie ferrée. Le comité de ravitaillement départemental répartira lui-même le contingent à réunir, d'abord entre les circonscriptions de groupement, puis entre les communes. Tout ceci n'est encore que du papier, mais nous arrivons à l'organe moteur sur lequel on compte pour transformer en réalité tous les calculs que l'on a faits jusqu'à ce moment : le soin de réunir les contingents et de les expédier sur les stations-magasins et les places fortes sera confié à une commission dite *commission de réception* et composée :

d'*un président*, désigné par le préfet, choisi parmi des hommes dégagés de toute obligation militaire, honorablement connus et ayant de l'influence dans la région;

d'*un membre adjoint*, désigné dans les mêmes conditions;

et d'*un secrétaire* comptable, qui est le receveur de l'enregistrement. Celui-ci, par ses fonctions spéciales, reste à son poste civil à la mobilisation et il est bien connu du paysan, lequel est fréquemment en contact avec lui pour toutes les questions, si importantes à ses yeux, de ventes, de successions, etc.

A côté de la commission va se placer le percepteur avec sa caisse que

l'on sait bien, dans les campagnes, être remplie d'un argent de bon aloi, lequel vient tout droit du bas de laine.

Cette simple énumération montre immédiatement le but cherché par l'inventeur du système : la commission est composée de telle sorte qu'on espère qu'elle mettra le cultivateur en confiance sans lui laisser oublier qu'il est en face de l'autorité. Le rôle du président de la commission est capital : il est l'*homme nommé par le préfet*; la bonne marche du ravitaillement va donc être facilitée par le réseau d'influence qui rayonne du chef-lieu du département jusqu'au fond des campagnes en passant par les mairies. D'autre part, il dispose d'une influence personnelle lui permettant d'éviter les mouvements de résistance et d'être entendu quand il parlera de l'intérêt supérieur du pays. Pour faciliter sa tâche, on décide qu'il procédera par achats au comptant, à un prix qui sera fixé par le ministre d'après les tarifs commerciaux correspondant à la qualité loyale et marchande de la denrée, prix qui sera porté à l'avance à la connaissance de tous : c'est le mode d'acquisition appelé dans nos règlements l'*achat à caisse ouverte* dans lequel, renversant en quelque sorte l'ordre des facteurs dans l'opération de la vente, on offre de l'argent pour avoir de la marchandise. Ce procédé que l'Intendance avait pratiqué même en pays étranger au cours de plusieurs guerres est toujours efficace parce qu'il inspire confiance. Dans le cas, d'ailleurs, où l'achat à caisse ouverte ne réussirait pas, le président de la commission de réception est investi du droit de réquisition : on ne désire pas du tout qu'il fasse usage de cette arme, mais il est préférable qu'il soit armé.

En résumé, des statistiques établies par département permettent au ministre de la Guerre d'établir chaque année et en se basant sur l'époque la plus défavorable, le contingent que l'on peut demander au pays pour le ravitaillement de l'armée en cas de mobilisation. Ce contingent est réparti par département, puis par circonscription de groupement et par commune : sa réunion est ensuite confiée à des commissions de réception opérant dans chaque circonscription de groupement par achat à caisse ouverte ou par réquisition.

Telle est la physionomie générale de l'organisation. Elle se présente en somme sous une forme civile depuis le comité départemental de ravitaillement jusqu'à la commission de réception. — Il ne faut pas s'y méprendre : derrière cette façade c'est le service de l'Intendance qui agit. De même que le sous-intendant doit être la cheville ouvrière du comité départemental, c'est lui qui établit pour chaque circonscription de groupement un véritable journal de mobilisation sur lequel il prévoit les jours de réception à partir du premier jour de la mobilisation, les quantités à recevoir, les expéditions à faire, l'organisation des convois pour aller de chaque commune au centre

de réception, sans oublier les sacs nécessaires au transport du blé ou de l'avoine, etc. C'est le sous-intendant qui, se mettant en contact étroit avec les présidents de commissions, s'assure qu'ils connaissent à fond leur circonscription, qu'ils savent ce qu'on peut obtenir de chaque maire et des secrétaires de mairie, car la commune sera la cellule originelle de la réunion du contingent. Mais ce fonctionnaire militaire n'entre pas en contact direct avec le cultivateur.

Ce qui caractérise donc avant tout le système dit du Ravitaillement National, c'est que c'est un système à base psychologique établi avec une connaissance avertie de la mentalité du paysan français. Sa mise au point avait été poussée avec une activité incessante, les statistiques annuelles grâce à leur succession régulière, avaient fini par atteindre un degré d'approximation très approché. — Malgré cela pouvait-on compter qu'il réussirait? Quelques esprits chagrins manifestaient des doutes et certain intendant qui ne détestait pas l'à peu près baptisa les commissions de réception du nom de commissions de déception. — Le mot fit fortune mais les faits sont là!

Dès les premiers jours de la mobilisation, le ravitaillement national a fonctionné conformément au plan établi et de manière à donner raison à ses partisans les plus optimistes. Il y a eu, il était impossible qu'il n'y eût pas, des difficultés de détail; mais dans l'ensemble, le phénomène d' « appel » sur lequel avait compté son créateur, s'est produit de la manière la plus efficace. Avec des prix d'achat à caisse ouverte fixés sans aucune exagération onéreuse pour l'État, les denrées sont sorties des granges les plus reculées, les convois se sont formés par commune au jour et à l'heure dits; les cultivateurs mis à même de remplir, sans aucune arrière-pensée de méfiance, leur devoir patriotique, ont apporté en quantité voulue leurs marchandises à la commission de réception. Il est permis de dire que cette mobilisation des vivres a été digne de la mobilisation générale, qui a porté nos armées à la rencontre de l'envahisseur.

Le ravitaillement national ayant bien fonctionné, nos stations magasins ont été alimentées comme elles le devaient; d'autre part, l'exploitation des ressources du théâtre d'opérations a bien donné le complément que l'on escomptait : il est donc permis de conclure qu'au point de vue des subsistances, les prévisions du Service de l'Intendance se sont réalisées. Mais deux facteurs nouveaux sont intervenus qui ont bientôt créé une situation nouvelle et appelé d'autres mesures : nous voulons parler de la stabilisation du front et de la longue durée des hostilités. — Elles ont eu pour conséquence l'épuisement rapide des ressources de la zone de stationnement des armées. Elles ont créé des besoins nouveaux, car le haut com-

mandement s'est rendu compte qu'il fallait compléter le régime quelque peu spartiate de nos vivres réglementaires, et ceci dans l'intérêt de la santé physique et morale du soldat. Il a donc fallu s'organiser pour expédier aux armées un grand nombre d'approvisionnements supplémentaires dont la deuxième partie de mon tableau (voir page 61) vous donne une idée : il présente les expéditions faites aux armées pendant le mois d'octobre 1918.

Pour faire face à une pareille tâche il a fallu augmenter le nombre de nos établissements expéditeurs, et en spécialiser un certain nombre : le Service de l'habillement dont je m'occuperai tout à l'heure est allé s'installer dans des entrepôts spéciaux; il a fallu créer des centres d'essence (car la consommation de l'essence a quintuplé), des centres de denrées d'ordinaire, etc., etc. Mais surtout il a fallu organiser la réunion des ressources nécessaires.

Pour cette réunion, le système du ravitaillement est resté pour nous un précieux outil, auquel nous n'avons cessé de demander de nouveaux services. Son fonctionnement n'a pourtant pas toujours gardé la facilité du début. C'est que les transactions commerciales arrêtées par la mobilisation ont bientôt repris leurs droits et que l'État s'est trouvé mis en concurrence par les acheteurs privés. Malheureusement, parmi ces acheteurs on a vu apparaître à côté du négociant sérieux, des gens d'origines... diverses, mais ayant tous la caractéristique commune de chercher à se transformer en nouveaux riches à la faveur de la guerre, ces gens que l'on pourrait définir en reprenant la formule mordante de M. Ch. Benoist : « N'importe qui, allant n'importe où acheter n'importe quoi, à n'importe quel prix ». — Les prix d'achats à caisse ouverte de nos commissions de réception se sont trouvés couverts par la surenchère. Fallait-il les élever? Le Service de l'Intendance a estimé qu'il ne devait le faire que dans la limite des cours commerciaux sérieux, sinon c'était commencer la course à l'abîme : le mercanti sûr de se rattraper sur le malheureux consommateur aurait toujours couvert nos offres. Mais l'adoption de cette règle de conduite a amené une lutte continuelle dans laquelle malgré tout notre bon vouloir il a fallu recourir à la menace ou à l'emploi de la réquisition. Il a fallu que les sous-intendants départementaux se dépensent sans compter pour soutenir les présidents des commissions de réception. Ceux-ci ont été, dans la très grande majorité des cas, de précieux auxiliaires et ils ont eu incontestablement un grand mérite. C'étaient des hommes âgés; ils sont restés pendant cinq ans de suite sur la brèche sans autre rétribution que des indemnités qui les couvraient à peine de leurs frais; ils n'ont pas hésité à se faire des ennemis, sacrifiant pour le ravitaillement de l'armée leur influence et leur petite popularité locales. — Vous me permettrez de rendre devant vous un hommage public à ces hommes aussi modestes que désintéressés qui, dans une tâche

dure et ingrate, ont montré le sentiment le plus élevé du devoir et se sont conduits en bons serviteurs de la patrie.

Malgré toutes ces difficultés les contingents demandés au ravitaillement national ont toujours pu être réunis, mais ils ont naturellement décru comme les récoltes, il a donc été nécessaire de se tourner de plus en plus vers l'importation.

La possibilité de recourir à l'importation avait toujours été envisagée concurremment avec le ravitaillement national puisque celui-ci ne pouvait suffire que dans le cas d'une année normale, — il fallait compter avec les mauvaises récoltes.

Au point de vue de l'importation on avait passé des conventions avec un certain nombre de négociants qui s'engageaient à acheter à l'étranger des quantités données de denrées quand l'État le leur demanderait : d'où le nom de « conventions éventuelles » donné à ces contrats. Mais ce procédé n'a pas, d'une manière générale, donné de résultats, les négociants en cause n'ayant pas pu remplir leurs engagements en raison du trouble apporté sur les marchés mondiaux par les hostilités. En fait, les modes d'importation ont varié avec les circonstances et avec les denrées à recevoir. Pour vous donner une idée de la manière dont ils ont été mis en œuvre, concurremment avec l'exploitation des ressources du pays, le mieux me paraît être d'examiner devant vous quelques cas d'espèces.

3. — Le blé.

D'abord le blé. — La récolte de 1913 avait été moyenne, mais la moisson de 1914 avait été retardée parce que le mois de juillet avait été très pluvieux. La soudure était difficile. L'Intendance avait une parade toute prête en vue de cet accident toujours possible : c'était de faire appel aux ressources de l'Algérie-Tunisie où les récoltes sont en avance d'un mois sur la métropole. Mais voilà qu'une première difficulté surgit. On sait que les départements du sud-est sont de très faibles producteurs en blé. Pour subvenir à leurs besoins en cas de mobilisation on avait compté sur les ressources du port de Marseille qui est toujours largement approvisionné en blé russe. Mais, par suite de la présence du *Gœben* et du *Breslau* dans les Dardanelles et de la mauvaise volonté de la Turquie, les cargos russes ne passent plus. Par suite, au moment où le blé d'Algérie arrive à Marseille, il faut en détourner une bonne partie au profit de la population civile du Midi. — Autre difficulté, encore plus grave : il faut intervenir pour ravitailler la population civile de Paris. Voici ce qui s'était passé : il y avait autrefois, en

tous temps, dans les magasins généraux de Paris, des quantités considérables de blé et surtout de farine. Grâce à ces stocks que le Service de l'Intendance surveillait avec attention, on n'avait pas à craindre de manquer de farine dans la capitale, bien que, comme conséquence des transports intenses de troupe, on envisageât l'interruption à peu près complète des transports commerciaux pendant les vingt premiers jours de la mobilisation. Seulement vers 1910 par suite de modifications diverses (et sur lesquelles il serait trop long d'insister) apportées aux conditions antérieures du commerce des grains et des farines, les stocks des magasins généraux étaient tombés progressivement à presque rien, et on ne pouvait compter les voir remonter. Pour remplacer cette précieuse réserve, l'Intendant Général, Directeur de l'Intendance du Gouvernement militaire de Paris (qui à la mobilisation prenait les fonctions et le titre caractéristique de Directeur Général des approvisionnements du camp retranché), l'Intendant Général dis-je, avait immédiatement demandé des crédits pour constituer des stocks administratifs. Rien n'est difficile vous le savez, comme d'obtenir des crédits et le 2 août 1914 les stocks n'existaient pas. Conséquence : nécessité de fournir à la capitale des quantités journalières de blé et de farine, sensiblement égales, étant donnée l'immensité de l'agglomération, à celles qui étaient nécessaires pour l'ensemble des armées mobilisées.

Ce n'est pas tout. Paris devenait camp retranché à la mobilisation. Il lui fallait donc des approvisionnements de siège pour sa garnison et sa population civile; on avait fixé ces approvisionnements à six mois pour 2.500.000 hommes et 80.000 chevaux. Mais comme il fallait, je viens de le dire, laisser d'abord le réseau ferré entièrement occupé pendant 20 jours au transport des troupes, que d'autre part la capitale est à une notable distance de la frontière, on n'avait prévu la constitution de ces approvisionnements de siège que du 20e au 60e jour de la mobilisation. Les événements ayant pris la tournure que l'on sait, on donne au Service de l'Intendance l'ordre d'être prêt pour les premiers jours de septembre. L'Intendant Général directeur des approvisionnements de siège (1) accomplit ce tour de force presque surhumain. Mais on voit quel à-coup cette réduction brusque des délais de constitution des approvisionnements dut apporter dans la réunion des ressources en blé.

Dans ces conditions critiques, le ravitaillement national arriva à donner plus que l'on ne comptait lui demander, mais il fallut absolument le seconder par l'importation. Il y avait heureusement sur l'Atlantique pas mal de

(1) C'était précisément le créateur du ravitaillement national. Il devait quelque mois après, succomber à la fatigue d'un trop lourd labeur.

« flottant ». On désigne ainsi les cargaisons expédiées par mer d'Amérique vers l'Europe avant d'avoir trouvé acquéreur. Les cargos qui les transportent viennent « à ordre » surtout vers les côtes anglaises : les commissionnaires chargés de les placer leur envoient par sans fil leur destination définitive dès que la vente est conclue. Je signale qu'une partie de ce flottant aurait été vraisemblablement dans nos ports, si un projet de loi que le Sous-Intendant créateur du ravitaillement national avait proposé pour compléter son système, avait pu voir le jour; malheureusement malgré tous ses efforts il n'avait jamais pu le faire aboutir. Ce projet consistait essentiellement en ceci : déclarer par une loi que la France suspendrait les droits d'entrée sur les blés pendant les quinze premiers jours des hostilités au cas où elle serait engagée dans une guerre européenne. On aperçoit immédiatement le but cherché : on offre aux importateurs une très bonne affaire pour tous ceux qui auront du blé à faire entrer en France dans les tout premiers jours de la guerre avant que la suppression des droits de douane ait fait effondrer complètement les cours. On incite donc les étrangers à profiter de la période de tension politique pour apporter du blé dans nos rades ou pour le débarquer en entrepôts dans nos ports. — Ceci n'était pas une hypothèse en l'air. Toutes les fois qu'il y avait jadis dans les Chambres un débat antiprotectionniste on voyait immédiatement les entrepôts se garnir de marchandises. — Quoi qu'il en soit, le projet de loi en question n'ayant pas été voté, le Gouvernement dut se contenter de lever les droits d'entrée sur le blé le 1er août 1914 et le résultat ne fut pas le même. Pendant la période de tension politique il n'y avait pas eu d'appel vers nos ports, et pas mal de flottant avait filé sur Hambourg.

Malgré les difficultés que je viens de résumer, on arriva tant par des achats de flottant que par des achats aux États-Unis (par l'intermédiaire de notre consul qui fit preuve de la plus louable activité) à dominer la situation. A la soudure de 1915, bien que la récolte de 1914 eût été déficitaire de 7 à 8 millions de quintaux, bien que l'invasion du Nord nous en eût fait perdre à peu près autant, nos approvisionnements de stations-magasins représentaient environ trois mois d'avance pour la consommation des armées.

La récolte de 1915 présentant un déficit de plus en plus accentué, un programme de réalisation fut établi pour la campagne agricole 1915-1916, qui comprenait en chiffres ronds :

2	millions	de quintaux	à demander	à la France.
2	—	—	—	à l'Afrique du Nord.
12	—	—	—	à importer.

Mais ce programme rencontra, pour sa partie importation, une opposition

absolue du ministère des Finances en raison de la situation défavorable de notre change. Des programmes successifs eurent le même sort et ce fut seulement en janvier 1916 que l'approbation définitive fut enfin obtenue. Ces retards avaient créé une situation d'une extrême gravité. Il n'y avait plus une minute à perdre; heureusement on était prêt à agir. Un bureau spécial d'achat avait été organisé à Londres, on s'était procuré le fret nécessaire et on avait préparé un plan de transport. Pour éviter l'embouteillage qui sévissait dans nos grands ports, on avait établi ce plan en utilisant les petits ports; là on était au large si on n'avait d'autres appareils de déchargement que ceux qui sont sur les bateaux eux-mêmes, et les voies ferrées en arrière n'étaient pas encombrées. Le succès répondant à ces efforts judicieusement ordonnés, le retard initial fut rattrapé et en août 1916 nous avions à nouveau nos trois mois d'avance. Les événements suivants vont montrer que cette avance fut providentielle.

Le programme pour 1916-1917 prévoyait, le déficit des récoltes allant toujours croissant, l'achat à l'étranger de 15 millions de quintaux. La réalisation de ce programme devait échapper quant à sa direction d'ensemble au Service de l'Intendance. Il alla se fondre dans les importations nécessaires à l'ensemble du pays, qui allaient s'exécuter sous la direction du nouveau Ministre du Ravitaillement général. Au même moment d'ailleurs, notre bureau d'achat de céréales de Londres donnait naissance à une commission internationale, le Wheat Executive, qui allait acheter en commun tout le blé nécessaire à l'Angleterre, la France et l'Italie. Mais cette organisation interalliée malgré toute sa puissance fut immédiatement dominée par les événements. Dans le courant de 1917 les effets de la guerre sous-marine furent tels qu'au mois d'octobre M. Clémentel, ministre du Commerce, au cours de négociations qui se poursuivaient à Londres pour obtenir de nos alliés un secours en fret s'exprimait ainsi : « La situation de notre ravitaillement en céréales panifiables est devenue d'une excessive gravité, nos approvisionnements en farine sont tombés à un jour dans nos stations magasins.

« Pour Paris et les grands centres, alors que nous sommes habituellement approvisionnés pour quinze jours, nous ne le sommes plus que pour deux ou trois jours. Fait plus grave que je n'ai pas voulu écrire mais que mon collègue M. Long peut vous confirmer : avant-hier 12 à 14 boulangers dans Paris n'ont pas eu de farine pour le pain. »

Et pourtant, on avait sacrifié l'approvisionnement en avoine à l'approvisionnement en blé, à un point tel qu'on avait dû supprimer un quart des chevaux des armées du Nord-Est malgré la gêne considérable que cette mesure amena dans les transports de toutes sortes.

La situation pendant l'année 1917-1918 resta à peu près aussi critique,

bien que la réquisition générale du blé eût été prononcée par le Ministère de l'Agriculture et du Ravitaillement, que la carte de pain eût été établie, que le taux d'extraction pour la farine de froment eût été porté à 85 p. 100, bien qu'on eût utilisé les succédanés comme l'orge, le riz, le seigle, la pomme de terre, etc., etc.

Dans la deuxième partie de 1918, grâce à l'activité donnée aux constructions navales tant en Angleterre qu'aux États-Unis, et grâce à la lutte de plus en plus efficace contre les sous-marins, il était possible d'entrevoir un avenir un peu meilleur. Le 23 juillet 1918 à Londres M. Hower, administrateur général du Ravitaillement aux États-Unis déclarait : « D'ici un an, il sera prouvé que l'objectif allemand d'affamer les alliés est finalement et pour toujours brisé. » Il fut brisé plus tôt encore par la victoire!

4. — La viande.

Passons maintenant à une autre denrée de première nécessité : la viande.

La France avait en 1914 un beau cheptel bovin, constituant une puissante réserve. Mais ici, il faut faire intervenir une notion essentielle : la notion du rendement en viande comestible d'un animal abattu pour la boucherie. Ce rendement peut varier de 40 à 60 p. 100 du poids total suivant que l'animal est ou non « en état ». Or, en France, le moment de l'année où on « prépare » le bétail pour la boucherie varie avec les régions. Il y a des régions où l'on engraisse les bêtes au pâturage; ce sont les régions de « bœuf d'herbe » ou « bœuf d'embouche ». Il y en a d'autres où on les engraisse à l'étable; ce sont les régions « de bœuf d'étable ». Ce qu'on pourrait appeler la récolte de la viande se répartit donc sur l'ensemble de l'année suivant le cycle résumé ci-après. D'abord, les bœufs d'herbe; en juin, ce sont les normands et les flamands qui sortent de riches et précoces pâturages; puis viennent, dans le courant de l'été, les manceaux, les charolais et les parthenais; en automne, les salers (plateau central) et les montbéliards descendent des pâturages de la montagne. En hiver ce sont les bœufs d'étable; en premier lieu les limousins et les garonnais et enfin, fermant le cycle et faisant *la soudure* (1), de mars à juin, les « sucriers » beaux animaux de travail que l'on engraisse après les semailles d'automne avec les pulpes de betteraves, résidus de l'industrie sucrière (d'où leur nom), principalement dans l'Aisne, les Ardennes et la Marne.

Ceci étant posé, il aurait fallu si l'Intendance s'était placée uniquement

(1) Ceci explique pourquoi la « soudure » était si difficile au printemps pendant toute la guerre.

au même point de vue que le commerce de la boucherie, qu'en préparant avant la guerre ses plans de ravitaillement de stations-magasins en bétail, elle eût prévu le nombre de « variantes » nécessaires pour s'adapter aux saisons; elle n'aurait, en agissant ainsi, demandé du bétail à une région qu'à l'époque favorable. Or la préparation des transports par voie ferrée à la mobilisation était une chose trop compliquée et trop délicate pour qu'une pareille solution pût être envisagée; on avait donc opéré pour le bétail comme pour les autres denrées et réparti les régions de ravitaillement entre les stations-magasins *ne varietur* en se basant uniquement sur l'orientation générale des courants de circulation ferroviaire.

Au commencement de la campagne, et comme on l'avait prévu, les armées consommèrent d'abord le bétail qu'elles trouvèrent sur place, puis se recomplétèrent sur nos stations-magasins. On utilisa les animaux sous la seule réserve qu'ils donnaient une viande saine et, comme beaucoup n'étaient pas à point pour la boucherie, on en abattit un nombre évidemment trop grand. D'autre part, le commandant en chef, étant donnés les efforts constants demandés aux troupes, leur alloua d'une manière uniforme la ration forte, soit 500 g de viande par homme et par jour. Enfin les opérations à large envergure des deux premiers mois amenèrent de grosses pertes pour le bétail des régions envahies.

Toutes ces causes réunies firent qu'à la fin de 1914 on constata que notre cheptel bovin était passé de 14 millions à 12 millions de têtes.

Des reproches véhéments nous ont été adressés à ce sujet. Les explications que je viens de vous soumettre vous permettent d'apprécier dans quelle mesure notre responsabilité était engagée. En tous cas, très conscients de la gravité de la situation, nous nous sommes efforcés d'y porter remède.

D'abord, puisque les grands transports de troupes des premiers mois de la guerre étaient terminés, le réseau ferroviaire devenait de ce fait beaucoup plus disponible. Aussi à partir de ce moment nous avons pu assurer le ravitaillement de nos stations-magasins en tenant compte de l'état d'engraissement du bétail dans chaque région. Malgré cette précaution, la réunion des contingents a été particulièrement difficile. La consommation de la viande avait considérablement augmenté dans la population civile, et nos présidents de commission de réception trouvaient de redoutables concurrents dans les négociants en bestiaux. Il a fallu employer souvent la réquisition, il y a même eu des scènes tragiques : un de nos officiers d'administration, qui assistait à titre de simple expert à une commission de réception, a été tué net par un paysan furieux de la réquisition de sa vache.

Mais le vrai remède à la situation déficitaire de notre cheptel était

d'importer non du bœuf sur pied qui dépérit dans les transports par mer et qui constitue un fret très encombrant, mais de la viande congelée.

Le Service de l'Intendance avait étudié l'emploi de la viande congelée pour le ravitaillement des armées depuis fort longtemps. C'est sur ses instances qu'avait été créé en 1894 le frigorifique de la Villette construit à frais communs par l'État et la ville de Paris. Il avait ensuite organisé lui-même des établissements analogues dans les quatre grandes places fortes de l'Est (Belfort, Épinal, Toul et Verdun). Mais ces établissements étaient à but militaire bien défini (approvisionnement des places fortes) et d'ailleurs, leur capacité n'aurait pas permis, et de beaucoup, de ravitailler les armées mobilisées.

Pour pouvoir préparer dès le temps de paix le ravitaillement des armées en viande congelée, il aurait fallu pouvoir s'appuyer sur une industrie frigorifique développée; or cette industrie — en ce qui concerne la viande — était à peine naissante en France.

Quoi qu'il en soit, dès septembre 1914, on aborda la question, bien que, l'importation étant inexistante en temps de paix par suite de tarifs protecteurs, on se trouvât devant l'inconu. Madagascar pouvait nous fournir un petit appoint : il y avait deux établissements frigorifiques et. du bétail en quantité notable (nous l'avons d'ailleurs presque trop durement exploité, tant sous la forme de viande frigorifiée que de conserve). Au Sénégal, il y avait aussi un établissement frigorifique, mais de production réduite et la peste bovine n'a permis de l'utiliser que dans une très faible proportion. Il fallait donc s'adresser aux pays gros producteurs, Etats-Unis, Argentine, Australasie. Des contrats furent passés et, en décembre 1914, nous nous étions assuré une fourniture de 20.000 t par mois jusqu'au 1er juillet 1915. Mais l'Angleterre intervint : ces 20.000 t nous les avions, en somme, détournées du courant qui la ravitaillait, car elle était à ce moment là le gros consommateur mondial de viande congelée. On négocia. Nous avions nos contrats; mais elle détenait la presque totalité des navires frigorifiques. Un accord s'établit sur les bases suivantes : nous cédions nos marchés à l'Angleterre qui s'engageait à assurer à frais communs notre ravitaillement en viande congelée, transport compris, en nous garantissant de 15.000 à 20.000 t par mois. (Ultérieurement, elle fournira même les bateaux nécessaires pour apporter la viande congelée produite par Madagascar.) Nous gardions d'ailleurs l'entière liberté (sous réserve d'assurer nos transports par nos propres moyens) d'exploiter les pays autres que l'Argentine ou l'Australasie qui sont les fournisseurs habituels des Iles Britanniques. Nous avions donc un bon minimum acquis et dans les meilleures conditions tant au point de vue du crédit (nous allions être en compte avec notre alliée) que du fret, puisque les transports étaient assurés par les puissants moyens anglais.

Pour augmenter ce minimum, il aurait fallu, d'après les termes de l'accord franco-britannique, que nous ayons une flotte frigorifique. Or, la flotte frigorifique française se réduisait à cinq petites unités qui effectuaient en temps de paix des transports pour l'Angleterre. Malgré l'arrêt à peu près absolu de nos chantiers maritimes, on arriva à construire sept nouvelles unités. Mais cette augmentation et les quelques importations supplémentaires qu'elle permit, ne compensa par les pertes par sous-marins de l'ensemble des bateaux frigorifiques franco-britanniques, pertes d'autant plus sensibles qu'il s'agissait d'un fret spécialisé. Pendant toute la guerre nous n'avons pu arriver à dépasser une moyenne d'importation de 17.000 t par mois.

Mais il ne suffisait pas de faire arriver dans nos ports de la viande frigorifiée, il fallait encore être en mesure de l'y recevoir. Pour cela des entrepôts frigorifiques étaient nécessaires : ceux qui existaient, et il n'en existait pas beaucoup, n'étaient pas aménagés pour ce service spécial. Il fallut donc ou créer ou améliorer. Pendant quelques mois on en fut réduit à employer des moyens de fortune, comme d'immobiliser dans certains ports des bateaux frigorifiques pour les utiliser comme entrepôts. Puis on arriva à réaliser à Marseille, Bordeaux, le Havre, Dunkerque les installations nécessaires; elles jouèrent le rôle de véritables stations-magasins de congelée d'où les expéditions se firent directement sur les gares régulatrices.

Pour compléter l'outillage, il fallait aussi avoir des wagons spéciaux pour les transports par voie ferrée. On adopta un système à parois isolantes, liège et tourbe, qui donna d'excellents résultats. On créa aussi quatre trains avec appareils refroidisseurs, véritables établissements frigorifiques roulants, avec l'idée de les utiliser si la guerre de mouvement recommençait. Un de ces trains était en arrière du front de Champagne le 25 septembre 1915. Mais on s'aperçut bientôt que l'emploi de cette organisation ne s'imposait pas, nos wagons simplement isolants permettant, même en été, de conserver la congelée sans altération pendant une vingtaine de jours. On démonta donc les machines frigorifiques des quatre trains et on les utilisa pour créer un entrepôt frigorifique à Salonique.

Contrats d'importation, flotte frigorifique, entrepôts des ports, wagons spécialement aménagés, tels étaient les éléments essentiels de notre organisation de ravitaillement des armées en viande congelée. Pour la compléter, il parut opportun de créer à l'intérieur du pays des frigorifiques pour constituer des approvisionnements d'avance soit en emmagasinant de la viande importée, soit en congelant du bétail indigène sur place aux époques favorables. Un frigorifique fut construit à Clichy, d'autres à Marseille, Dijon, Alger et Chasseneuil (Vienne). Nous pouvions ainsi arriver à loger, en utilisant aussi nos cinq établissements d'avant-guerre, une avance d'une

vingtaine de jours de consommation pour les armées du Nord-Est. C'était peu, mais étant donné le taux de nos arrivages que limitait, nous l'avons vu, la question du fret, nous n'aurions pu, même avec de plus nombreux établissements, faire davantage. Avec une avance aussi faible tous les à-coups n'ont pu être complètement évités : quelques torpillages malheureux de navires impatiemment attendus ont créé plusieurs fois des situations assez précaires auxquelles on est arrivé à parer avec de la viande fraîche sans que les troupes aient eu à en souffrir.

Il n'est pas inutile de souligner qu'en improvisant ainsi le ravitaillement en viande frigorifiée en pleine guerre, la France a obtenu des résultats qui sont une preuve frappante de sa capacité industrielle trop facilement méconnue. Certaines comparaisons sont réconfortantes. Les alliés qui combattaient à nos côtés étaient de vieux praticiens au point de vue de l'usage de la viande congelée : or, les Anglais se sont empressés d'adopter notre modèle de wagons à parois isolantes, le frigorifique de Dijon s'affirme comme très nettement supérieur au frigorifique américain de Gièvres, etc.

5. — Le vin.

Prenons maintenant une denrée pour laquelle la question de l'importation n'a pas eu à intervenir, au moins d'une manière très appréciable, et sauf, bien entendu, les apports de l'Algérie : j'ai nommé le vin. Le réapprovisionnement des stations-magasins pour cette denrée n'a pas été pour cela exempt de difficultés.

Pendant la première année de la campagne, le vin était distribué seulement comme denrée d'ordinaire (1). Les stations-magasins en avaient fourni une certaine quantité à titre remboursable (1) provenant soit de l'Algérie, soit du Midi, où sa réunion par les commissions de réception ne s'était pas faite sans difficultés : les méridionaux avaient généreusement envoyé au front 150.000 hl de vin à titre de don, mais ils supportaient difficilement l'obligation de fournir davantage, fût-ce contre payement.

Lorsqu'en 1915 on décida de faire entrer définitivement le vin dans la ration réglementaire du soldat, on calcula qu'une quantité annuelle de 5.000.000 hl était nécessaire (2). Ce chiffre parut formidable aux spécialistes qui furent consultés à ce moment et qui déclarèrent que les maisons les

(1) C'est-à-dire que le vin était acheté, avec les fonds de l'ordinaire soit dans le commerce soit dans les magasins de l'Intendance.

(2) Ce chiffre est allé en augmentant constamment. Après avoir commencé par donner de 1/4 à 1/2 litre de vin par homme et par jour, on est arrivé en fin de campagne à donner un litre. La consommation totale était en 1918 de 9.000.000 à 10.000.000 hl par an.

mieux outillées arrivaient à peine à manier en un an 200.000 hl, qu'il était au-dessus des forces humaines de loger et de « soigner » des quantités plus considérables, que l'on aurait de grosses avaries au mois d'avril qui est, on le sait, le mois critique pour la conservation du vin.

Le Service de l'Intendance estima que le commandement avait fixé le but à atteindre, qu'il s'agissait d'apporter au poilu un réconfort, et que dans ces conditions-là il ne fallait admettre les *impossibilités* que sous bénéfice d'inventaire. Il tenta donc ce que dans certains milieux compétents on appelait « l'aventure de la réquisition des vins ». La situation se compliquait du fait que la récolte de 1915 était déficitaire : on la frappa de réquisition générale pour un quart dans les 15e, 16e, 17e, et 18e régions. Cette forme de réquisition était possible, chaque propriétaire étant tenu de déclarer le montant de sa production aux contributions indirectes (1).

Chose curieuse, malgré son apparence draconienne, la réquisition générale fut acceptée sans trop de difficultés par la population en raison du caractère *égalitaire* de ce procédé : la confédération générale des vignerons lui donna en particulier son entière adhésion. On laissait d'ailleurs au propriétaire la faculté de faire transformer la réquisition en achat au prix arrêté par l'administration d'après un barème fixé au degré alcoolique : près de 98 p. 100 d'entre eux acceptèrent.

L'Intendance se réservait le droit, moyennant une prime de conservation, de laisser provisoirement le vin réquisitionné chez les propriétaires qui devaient le conserver sous leur responsabilité en « bons pères de famille ».

La quantité de vin nécessaire étant ainsi assurée, il fallait encore une véritable organisation à caractère industriel pour être en mesure de l'envoyer au front avec le minimum de risques d'avarie. Cette organisation devait comprendre d'abord dans les régions de production des entrepôts où le vin était envoyé après avoir été retiré des chais des producteurs qui l'avaient conservé en dépôt : opération de la « retiraison », néologisme consacré maintenant par l'usage. On loua ou réquisitionna à cet effet des entrepôts déjà existants en choisissant les mieux outillés et on assura leur fonctionnement avec des spécialistes militaires ou civils soigneusement recrutés. A l'entrepôt le vin était examiné à la réception, filtré, égalisé comme goût et comme degré alcoolique par des coupages appropriés.

Il fallait aussi mettre nos stations-magasins en mesure de loger un approvisionnement d'avance, en principe quatre jours d'avance pour l'effectif desservi, approvisionnement qui est allé toujours en augmentant puisque

(1) Il était possible de faire état de la sincérité de cette déclaration, car le viticulteur ne peut obtenir d'acquit pour la circulation de son vin que pour les quantités déclarées au moment de la récolte.

les envois au front ont atteint par la suite un litre par homme et par jour. On les a dotées à cet effet de cuves en ciment et de foudres avec pompes électriques et robinetterie permettant de remplir simultanément un grand nombre de futailles, etc.

Enfin il était nécessaire de régler la question du transport et celle des récipients, qui y était intimement liée. On reconnut rapidement qu'il fallait spécialiser avec soin les récipients suivant les transports à effectuer. Tout d'abord, pour les transports par mer du vin provenant de l'Algérie, il était indispensable de conserver ce qu'on appelle les « demi-muids-transports », solides pièces de 600 l susceptibles de supporter les engerbements en cale sur plusieurs rangs. Ces demi-muids constituent une véritable richesse commerciale collective qui circule d'une rive à l'autre de la Méditerranée et qui aurait été très difficile à remplacer car ces tonneaux demandent, pour être construits, un bois spécial venant principalement d'Amérique, le bois merrain, dont l'importation était arrêtée par la guerre. Donc il fut interdit de laisser les demi-muids-transports dépasser les entrepôts où le vin d'Algérie était traité avant d'être envoyé au front.

Des entrepôts aux stations-magasins, on utilisa des wagons-réservoirs, réquisitionnés ou loués, et suivis dans leur rotation par un service spécial, le service des wagons-réservoirs à Montpellier. Interdiction de laisser ces wagons-réservoirs aller jusqu'aux gares de ravitaillement où ils se prêtaient mal à une distribution rapide et d'où ils revenaient en général privés de tous leurs accessoires : pompes, robinetterie, etc.

Enfin des stations-magasins aux gares de ravitaillement on employa de la futaille de tous modèles, la plus commode étant le baril de 225 l. L'entretien de cette futaille a été un de nos gros soucis : malgré toutes les étiquettes apposées (1), on n'était pas « bon pour nos tonneaux »! et les ateliers de tonnellerie de nos stations-magasins, malgré toutes les améliorations qu'on ne cessait d'y apporter pour accroître leur rendement, n'arrivaient pas à les maintenir en état : il a fallu bien des efforts insoupçonnés pour éviter que de ce fait le ravitaillement en vin des armées ne fût compromis.

Grâce à l'organisation dont je viens de donner les grandes lignes, qui apparaît comme simple dans son principe mais dont la mise en œuvre a été des plus délicates, le problème du vin a pu être résolu. L'exploitation de la France et de l'Algérie a permis d'obtenir toutes les quantités nécessaires en étendant la réquisition générale à toute la métropole, avec les tempéraments nécessaires pour les régions de vins de luxe. La quotité de la récolte sur

(1) Connaissant l'influence de la « réclame », nous avions fait apposer sur les fûts des étiquettes aux couleurs voyantes avec des inscriptions de la nature de celles-ci : « Ménagez les tonneaux si vous voulez avoir encore du pinard! » — « Soyez bons pour les tonneaux! ».... etc.

laquelle a porté la réquisition générale a varié du quart au sixième. On n'a été obligé de recourir à l'importation qu'en 1915, la récolte ayant été très déficitaire. Cette année-là 600.000 hl ont dû être demandés à l'Espagne et au Portugal. — Nous avons aussi employé un expédient. Nous avons monté à la même époque à Saint-Louis-des-Aygalades, en nous cachant quelque peu dans cette petite localité, une fabrique de vin de raisins secs. Ce vin était ma foi très réussi, le Ministre et le Commandant en chef l'avaient admis à leur table et l'avaient trouvé fort bon, le Service de Santé l'avait déclaré parfaitement hygiénique, et 150.000 hl avaient déjà été envoyés au front, quand une interpellation foudroyante des représentants de nos populations viticoles amena la fermeture de notre usine.

En résumé nous avons pu toujours fournir la « quantité », j'entends *au départ* des entrepôts de la région de production, car nos envois sur les stations-magasins ont bien souvent été gênés par la crise des transports intérieurs. Au moment de l'armistice, une quantite considérable de wagons-réservoirs pleins, près de 600, étaient embouteillés sur les différents parcours. Quant à la « qualité », il était inévitable qu'elle ait laissé dans certains cas à désirer : nous ne pouvions pas pour des quantités pareilles fournir du « grand ordinaire » mais seulement du « pinard ». D'ailleurs nous avons aussi envoyé du vin fin : 3 millions de bouteilles par mois, comme l'indique le tableau de la page 61.

6. — Autres vivres.

Il ne peut être question, sous peine de donner à cet exposé une ampleur beaucoup trop considérable, de continuer à indiquer, denrées par denrées, toutes les difficultés qu'a éprouvées le Service de l'Intendance pour se procurer chacune d'elles. Il n'en est aucune qui n'ait représenté un problème délicat à résoudre. — Le manque de fret empêchait le *riz* d'arriver d'Indo-Chine. — Privés pour les *haricots* des ressources de la région danubienne et de l'Asie Mineure, nous interdisant d'utiliser ceux de l'Inde qui peuvent contenir de l'acide cyanhydrique, nous avons eu recours à ceux du Japon; puis, les Anglais étant venus nous concurrencer sur ce marché, nous avons dû nous rabattre, à notre corps défendant, sur les haricots du Brésil : d'où ennuis prévus, ces légumes ayant une peau très dure et étant infestés d'un insecte qui les détruit en approvisionnement, le charançon. — Grosse crise pour le *sucre*, la production de la France, par suite de l'invasion, étant réduite de 6/7. — L'*eau-de-vie* étant entièrement réquisitionnée, comme tous les alcools, pour le Service des Poudres, il a fallu

revenir au traditionnel tafia de nos vieilles armées et organiser la réquisition du rhum des Antilles. — La fabrication de la *viande de conserve* a pris un développement considérable (1) : les usines françaises n'ont pas suffi; on a dû s'adresser à Madagascar et à la République Argentine, sous réserve d'une surveillance très serrée exercée sur place. La guerre actuelle paraît bien avoir consacré la réhabilitation de notre « singe », objet avant la guerre d'une défaveur imméritée de la part du troupier; il est certainement très supérieur au corned-beef américain, lequel est toujours préparé avec des déchets de viande et dont le goût salé lasse très rapidement le consommateur; nos prisonniers de guerre, en Allemagne, ont toujours réclamé avec beaucoup d'insistance la conserve française, de préférence à toute autre. — Pour ces mêmes prisonniers, nos établissements ont fabriqué 1.200.000 quintaux de *pain de guerre*, en dehors de 200.000 quintaux, par an, pour les besoins des armées. Cette fabrication a été très améliorée; grâce à une modification dans le travail des levains, on a obtenu des petites galettes beaucoup plus faciles à manger et qui sont susceptibles de « se tremper » comme du pain ordinaire. — A côté des fabrications du temps de paix, on en a créé de toutes nouvelles comme celle des *confitures* notamment, en remettant en marche une usine allemande installée à Lyon.

Le Service de l'Intendance français n'a jamais eu recours à « l'ersatz », que notre troupier aurait probablement assez mal accueilli, si on en juge par sa répugnance à manger du cheval. Il n'a consenti à absorber ce dernier que sous la forme de saucisson, et c'est une des raisons qui nous ont incités, avec la nécessité d'utiliser certaines issues de nos centres d'abat, à développer nos installations de charcuterie. Toutes les issues non comestibles de ces centres ont été rationnellement employées : un grand centre de récupération avait été organisé, à cet effet, à Ablis-Paray, dans la Seine-et-Oise, sur lequel tous les suifs, cornes, onglons, non utilisés sur place, étaient renvoyés par les trains de ravitaillement en retour. A un autre point de vue, on a fait quelques essais intéressants en raison de la pénurie grandissante des matières grasses pour extraire de l'huile des pépins de raisin, de tomates...

Je passe sur la création des centres de denrées d'ordinaire, des centres de légumes verts avec achats directs aux halles, sur la réquisition générale du gruyère, sur la question du chocolat, etc., etc.

(1) Un million de quintaux environ.

7. — Les denrées fourragères.

J'ai indiqué d'un mot, en vous parlant du blé, qu'en 1917 on avait dû sacrifier le ravitaillement en avoine au ravitaillement en blé et se résoudre à diminuer d'une façon considérable le nombre des chevaux des armées (1). Il faut reconnaître que nos pauvres coursiers ont été un peu les sacrifiés, au point de vue alimentaire, au cours de la guerre. En dehors de l'avoine, il a été toujours impossible de leur donner leur ration complète de foin. Cette impossibilité a résulté d'une question de transport, le foin étant très encombrant. Pour y parer, on s'est efforcé de le presser afin de lui donner une densité plus forte, mais les presses manquaient.

A la mobilisation, l'État possédait 75 presses Withman qui paraissaient suffisantes pour ce ravitaillement « éventuel ». A la fin de la guerre, ce nombre a dépassé 500. Toutes les presses disponibles en France avaient été achetées, louées ou réquisitionnées; 250 environ avaient été importées d'Amérique, avec les plus grandes difficultés en raison du fret. En 1918, on se procura des presses hydrauliques qui permettaient d'obtenir une densité de 500 ou 600 kg au mètre cube, au lieu de 300 kg avec les presses Withman. Mais ces presses hydrauliques avaient le grand défaut de n'être pas mobiles, comme les Withman, qui peuvent circuler de village en village : d'où nécessité d'un transport supplémentaire et perte d'une bonne partie, sinon de la totalité, du bénéfice de l'augmentation de densité.

Le Service de l'Intendance a fait de grand efforts pour parer au déficit de denrées fourragères par l'emploi de succédanés : aliments mélassés, marcs de pommes, bruyères, roseaux, algues, etc. Mais ces procédés ne pouvaient être que des palliatifs, la cause initiale de la crise se trouvant dans l'insuffisance des transports par mer pour l'avoine et par voie ferrée pour le foin.

8. — Les combustibles.

Deux mots du ravitaillement en combustibles.

Le charbon a été fourni aux armées de gauche par les mines françaises du Nord et du Pas-de-Calais, épargnées par l'invasion. Pour éviter les transports inutiles, on faisait des expéditions directement aux armées par trains complets, sous réserve d'avoir dans les stations-magasins un stock à titre de volant. Les armées de droite étaient ravitaillées par charbon anglais

(1) Pendant les deux premières années, le ravitaillement en avoine avait marché normalement, dans des conditions analogues à celle du ravitaillement en blé.

arrivant par Rouen et transporté par voie d'eau à Saint-Florentin dans l'Yonne, où avait été organisé un centre houiller. Pour le coke, le Bureau national des Charbons (1) mettait la production d'un certain nombre d'usines à gaz à la disposition du Service de l'Intendance.

La fourniture du bois a nécessité une organisation considérable, car en raison de l'élévation considérable des prix, il a fallu monter de toutes pièces l'exploitation d'un certain nombre de forêts domaniales.

L'alcool solidifié a été d'abord fourni par le commerce, qui demandait un prix élevé et dont les produits comprenaient 25 p. 100 de matière inerte (soude et stéarine) non combustible. Pour obvier à ce double inconvénient, on a créé une usine à Aubervilliers, dans laquelle on a fabriqué, en gestion directe, un produit ne contenant plus que 5 p. 100 de matière inerte. La production a atteint 200 q par jour, au début par boîtes de 10 kg, puis à la fin, malgré toutes les difficultés de se procurer de la tôle (2), en boîtes de 250 g.

Parmi les combustibles, il en est un, l'essence, qui mérite de retenir l'attention.

La consommation de l'essence aux armées a *quintuplé* entre août 1914 et octobre 1918. La consommation privée a beaucoup augmenté pendant la même période, car les particuliers ont cherché à suppléer à l'insuffisance des transports par voie ferrée en utilisant intensivement le camion. Toute l'essence provenant de l'importation, dont nous avons rappelé les difficultés, le problème de ravitailler les armées sans porter un trop grand préjudice à la population civile, était certainement de solution délicate. Voici celle qui fut adoptée. On s'adressa aux quelques grosses firmes qui centralisent en France tout le commerce de l'essence et on passa avec elles un contrat de la forme générale ci-après : Vous donnerez toujours satisfaction *par priorité* aux besoins de l'armée. D'autre part, vous devrez toujours avoir dans vos entrepôts un minimum d'approvisionnement : en aucun cas une livraison à la population civile ne devra faire descendre votre stock au-dessous de ce minimum. (Les livraisons pour la consommation privée étaient d'ailleurs, on se le rappelle, réglementées par le gouvernement : bons de priorité, cartes d'essence, etc., suivant les périodes.) — Ainsi, l'essence était en quelque sorte captée à sa source (3), et l'autorité militaire était maîtresse de son débit.

(1) Qui avait la direction d'ensemble du ravitaillement du pays en charbon. Cet organe a relevé pendant presque toute la guerre du Ministère ou du Sous-Secrétariat d'État de l'Armement.

(2) Cette difficulté a été très grande pour tous les boitages : conserves, vivres de réserve, etc...

(3) Nous signalerons en passant que nous avons dû demander aux raffineurs français deux très importantes opérations de raffinage dont ils se sont tirés à leur honneur : la première, pour

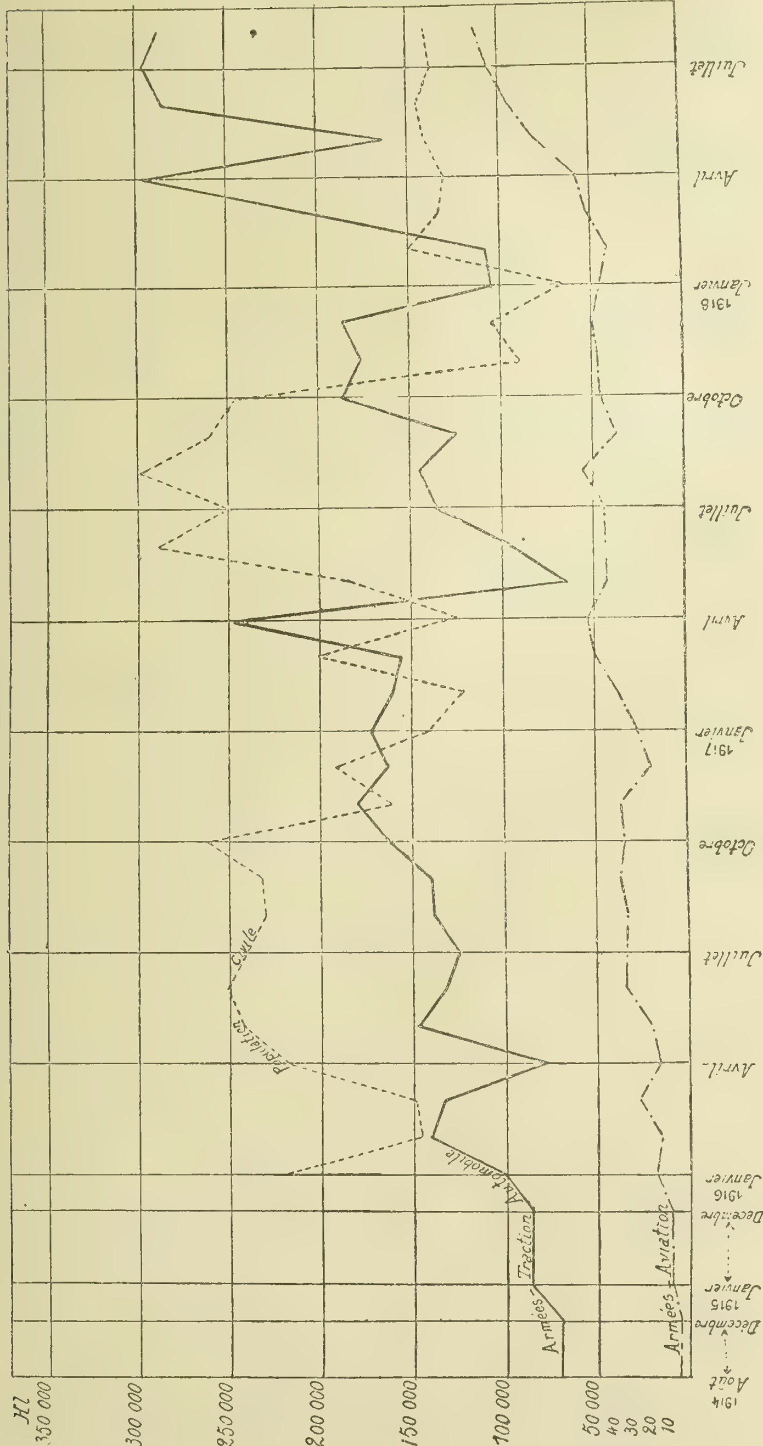


Fig. 2. — Consommation d'essence pendant la guerre 1914-1918.

Nous n'ignorons pas que ce système a été très gênant pour les intérêts des particuliers. Mais pouvions-nous faire autrement? La courbe que je mets sous vos yeux, vous documente à ce sujet. Elle montre que la consommation d'essence d'aviation a suivi une progression croissante et continue au fur et à mesure que la lutte aérienne prenait plus d'amplitude. Quant à la consommation d'essence pour la traction automobile, elle a aussi constamment augmenté, mais on est immédiatement frappé des brusques variations que marque la courbe. C'est que le camion est devenu pendant la guerre l'outil de transport rapide de troupes qui permet soit de surprendre l'adversaire, soit de parer à ses surprises. Regardez les dates qui se trouvent au-dessous de chacune des « pointes » supérieures : elles vous rappelleront une période de grandes batailles : « pointes » de Verdun, « pointes » de la Somme, « pointe » de l'offensive d'avril 1917, « pointe » de la Malmaison. La consommation civile suit exactement les variations inverses de la consommation militaire. Il est donc bien net que ce sont les *nécessités de la bataille* qui ont imposé ces variations, et qu'il était impossible de faire une plus large part aux besoins privés.

A la fin de 1917, la courbe de la consommation civile marque une baisse brutale que n'explique pas une élévation correspondante de la courbe militaire. C'est que nous avons vécu à ce moment-là une des périodes les plus angoissantes de la guerre. Une série de torpillages malheureux de bateaux transporteurs d'essence venait de réduire d'une façon considérable nos approvisionnements, et cela au moment même où l'adversaire, ramenant de Russie ses corps d'armées, commençait à se masser en face de nous pour l'offensive suprême. Le haut commandement allait-il donc se trouver démuni, dans cette période critique, des moyens de transports automobiles indispensables pour paralyser au moment voulu l'effort de l'envahisseur?

M. Clemenceau, prévenu, s'adresse par télégramme personnel à M. Wilson, et immédiatement tous les bateaux-réservoirs d'essence américains, naviguant sur toutes les mers du monde, reçoivent par T. S. F. ou câblogramme, l'ordre de changer de route et de mettre le cap sur les ports de France. Nos approvisionnements sont reconstitués à temps. — Aussi, aux mois tragiques de mars, avril et mai 1918, nos camions peuvent jeter, à la rencontre d'un ennemi auquel un succès initial a donné l'illusion de la victoire, le flot de nos ardentes divisions. qui lui barrent la route. Et, le 18 juillet 1918, une nuée de ces gros mangeurs de carburant qu'on appelle

extraire et livrer au Service des Poudres le *benzène*, le *toluène* et le *xylène* dont, à la fin de 1914, on a découvert *par un hasard providentiel* la présence dans les essences de Bornéo; la seconde pour fournir à l'aviation de l'essence du type « extra », indispensable pour donner à nos avions le maximum de puissance.

les « tanks », peuvent surgir de la forêt de Villers-Cotterets, aux yeux d'un adversaire stupéfait, brusquement mis en face du spectre de la défaite : car, derrière ces chars d'assaut, apparaissent les baïonnettes de la contre-offensive victorieuse dont le général commandant en chef les armées alliées vient de donner l'ordre décisif!

IV. — L'habillement.

1. — Situation a la mobilisation.

Le service de l'habillement se trouvait à la mobilisation dans une situation très différente de celle du service des subsistances. J'ai indiqué, pour ce dernier, comment on avait pu établir les prévisions sur lesquelles on avait bâti tout le système de réunion des ressources : on avait déterminé les rations journalières des hommes et des chevaux et on savait que dès le premier jour on aurait à fournir aux armées une quantité égale au produit de ces rations multipliées par les effectifs.

Pour l'habillement il n'en était pas de même. On avait posé le principe que tous les hommes mobilisés partiraient habillés à neuf de pied en cap, et les approvisionnements nécessaires avaient été constitués à cet effet dès le temps de paix : grosse mise de fonds et grosse dépense d'entretien. Était-ce suffisant? Fallait-il avoir des approvisionnements plus considérables? Fallait-il aussi se préparer à mettre en marche dès les premiers jours de la guerre une fabrication intensive pour faire face à l'entretien des armées?

Si la guerre devait être courte, l'urgence d'adopter l'une ou l'autre de ces solutions n'apparaissait pas comme évidente et elles avaient comme contre-partie des inconvénients sérieux. La première demandait de nouvelles dépenses qui faisaient hésiter le Parlement. La deuxième nécessitait la concession de nombreux sursis que le commandement, soucieux de maintenir ses effectifs à un niveau aussi élevé que possible, n'était pas disposé à accorder. Finalement les décisions suivantes avaient été prises. On avait majoré de 10 p. 100 environ les approvisionnements d'effets neufs destinés à habiller les formations mobilisées. Cette majoration constituait une première avance à laquelle venaient s'ajouter les effets usagés que laissaient les hommes de l'active, après avoir revêtu une tenue neuve à leur départ pour le front. D'autre part, le Service de l'Intendance qui n'avait pas oublié qu'en 1870 son unique fournisseur la maison Godillot (dont le nom vivra tant qu'un soldat français portera une paire de chaussures) qui n'avait pas oublié, dis-je, que son unique fournisseur avait été enfermé dans Paris,

avait pris la précaution de répartir ses fournisseurs du temps de paix sur toute l'étendue du territoire. Il s'était aussi efforcé de dresser la liste et de déterminer le rendement probable, des établissements privés de l'industrie de l'habillement existant en France. Mais les règles relatives aux concessions du sursis étaient très strictes. Elles ne permettaient même pas de conserver à nos fournisseurs du temps de paix le personnel qu'il leur aurait fallu pour continuer à fabriquer à plein à la mobilisation. *A fortiori* on n'avait pu prendre aucune mesure pour maintenir en état de produire les établissements privés non fournisseurs de l'armée.

Au début de 1914, cette situation déjà assez aléatoire, s'aggrave brusquement. Par suite de l'adoption de la loi de trois ans, le nombre des formations mobilisées est augmenté, et on constate que la majoration de 10 p. 100 des approvisionnements en effets neufs est nécessaire pour les besoins de ces unités nouvelles au premier jour de la mobilisation. La nécessité d'accroître les réserves d'habillement apparaît alors très nette, les crédits voulus sont demandés à cet effet au Parlement en même temps que tous ceux destinés à compléter notre outillage militaire : on sait qu'ils ne furent votés que le 14 juillet 1914. Dans ces conditions on conçoit que le Service de l'Habillement s'est trouvé au début de la guerre dans une situation singulièrement grave, qui se caractérisait de la manière suivante : aucun approvisionnement disponible, des fournisseurs dont les usines étaient en partie désorganisées par le départ de leur personnel pour la frontière et dont la puissance productrice allait se révéler infime en face des besoins formidables des armées (1), une industrie privée dont les établissements étaient encore plus paralysés que ceux des fournisseurs habituels de l'Intendance. Il y a donc eu pour le service de l'habillement pendant la guerre deux périodes très nettes : une période de crise initiale intense, une période d'organisation.

2. — La crise initiale.

Pendant la première période, le Service de l'Intendance cherche à constituer les avances d'approvisionnement qu'il aurait réalisées dès le temps de paix s'il avait disposé des crédits nécessaires, de manière à pouvoir faire face

(1) Le tableau ci-dessous donne une idée de la différence entre les besoins du temps de paix et du temps de guerre.

	Production journalière.	
	Avant la mobilisation.	Pendant la guerre.
Draps de troupe	4.000 mètres.	80.000 mètres.
Effets en drap	4.500 effets.	85.000 effets.
Chaussures	3.250 paires.	46.000 paires.
Grand équipement	300 collections.	15.000 collections.
Ustensiles de campement	200 collections.	30.000 collections.

à ce qu'on pourrait appeler les besoins normaux : envois d'effets de remplacement, habillement des hommes de renfort. Tandis qu'il poursuit fiévreusement ce but, surgissent des besoins nouveaux aussi considérables qu'imprévus. Ce serait la faillite, si tous les moyens n'étaient mis en œuvre pour se rétablir. D'une part, l'importation : des missions d'achat sont envoyées en Angleterre, au Canada, aux États-Unis, dans l'Amérique du Sud, en Espagne, en Italie. D'autre part, l'exploitation des ressources nationales : elle est poussée à fond à l'aide d'une large décentralisation. Dans chaque région de corps d'armée, le Directeur de l'Intendance reçoit les instructions les plus énergiques pour réunir toutes les ressources qu'il peut trouver, mettre en œuvre tous les moyens de production que peut fournir le territoire sur lequel il exerce son action.

Pour vous donner une idée de ce qu'a été cette période, je me bornerai à quelques exemples.

Et d'abord, les effets de drap. Une question préalable se posait à leur sujet : quelle couleur adopter? Un ou deux mois auparavant, le fameux drap tricolore avait été choisi et sa fabrication était en préparation, mais elle se révélait comme techniquement difficile et les industriels faisaient remarquer qu'elle se prêtait mal à une fabrication intensive. D'autre part, elle exigeait l'emploi d'une quantité importante de bleu et de rouge et, pour des raisons que j'indiquerai tout à l'heure, on craignait de manquer de colorants. Alors, le travail en commission n'étant plus de saison, le Directeur de l'Intendance au Ministère de la Guerre apporte au Ministre personnellement, dans son cabinet, un certain nombre d'échantillons de drap répondant, autant que possible, à la triple condition : peu de visibilité, fabrication facile, emploi de peu de matière colorante. Le Ministre choisit le bleu horizon. Ce n'était pas le moment d'établir un prototype et de l'envoyer, muni des cachets réglementaires, au dépôt des modèles, chargé d'établir les modèles-types à adresser aux différents fabricants. Cette solennelle cérémonie, on y pensera au mois de mars 1915 lorsqu'une bonne partie de l'armée française sera déjà revêtue du nouvel uniforme! Le 17 août, des modèles établis d'urgence par la maison Balsan, à Châteauroux, sont envoyés, portés par des convoyeurs sûrs employant les moyens de transport les plus rapides sur les différentes régions d'industrie lainière (1). Utilisant les données des reconnaissances d'usine faites dès le temps de paix, on s'adresse à tous les fabricants, on les aide par tous les moyens possibles à réorganiser leur fabrication avec le personnel disponible. Aussi, les premiers jours de septembre, la fabrica-

(1) Le convoyeur qui portait de Châteauroux les échantillons destinés aux industriels de la région Lyon-Vienne a été transporté en automobile, les communications par voie ferrée entre les deux régions demandant, à ce moment-là, plusieurs jours.

tion atteint déjà 24.000 m par jour et on compte arriver bientôt à 50.000 m lorsque l'invasion du Nord nous paralyse à moitié. Cependant, fin décembre, on arrive à 80.000 m. Comme, d'autre part, 9.000.000 m ont été commandés en Angleterre et ont commencé à être livrés, on peut considérer pour le drap la partie comme gagnée.

La confection des effets avait été poussée parallèlement avec la même activité. De nouveaux types d'effets avaient été arrêtés avec les mêmes procédés de décision rapide que la couleur bleu horizon. Ils avaient été conçus avec la double préoccupation d'employer le moins de drap possible (capote à un seul rang de boutons), et d'être plus pratiques (vareuses à poches remplaçant l'ancienne veste). Un modèle unique avait été adopté pour toutes les armes, ce qui simplifiait considérablement la réalisation. Tous les moyens de confection furent mis en œuvre : anciens et nouveaux entrepreneurs, ouvroirs qui se constituaient un peu partout pour donner de l'ouvrage aux femmes des mobilisés et aux réfugiées des régions occupées. On développa largement les ateliers des maîtres-ouvriers des corps de troupe : ils fournirent un concours sérieux. Aussi l'opération de changement d'uniforme put-elle être entreprise dès le mois de novembre 1914 pour une armée et dès le mois de février 1915 pour toutes les autres.

Mais avant d'arriver à ce résultat, il avait fallu vraiment faire flèche de tout bois. L'automne de 1914 a été l'époque, car c'étaient surtout les pantalons qui faisaient défaut, des culottes en velours d'Amiens, des pantalons civils recouverts de salopettes bleues, l'époque de la réquisition des uniformes de tous les pompiers de France !

Pour les brodequins, mêmes intenses difficultés. 3.200.000 paires sont demandées à l'importation. Tout ce qui peut faire figure de brodequin de marche dans toute la France est réquisitionné ou acheté.

Pour les effets de toile, pour le petit équipement, mêmes procédés généraux d'achats ou de réquisition dans toutes les régions ou d'achats à l'étranger. Voici pour la satisfaction des besoins normaux.

Parmi les besoins nouveaux, le premier en date se manifeste par une demande du général en chef portant sur 2.500.000 tentes individuelles. On achète 3.000.000 m de toile en Angleterre, on organise l'imperméabilisation, la confection. Celle-ci, bien que simple, ne marche pas aussi vite qu'on le voudrait : tout manque, fil, boutons, machines à coudre. De Rouen, on envoie chercher en auto dans la région de Beauvais des ouvrières et des machines spéciales pour poser rapidement les boutons. Les grands et les petits piquets, les cordeaux représentent un autre problème. Les toiles de tente peuvent cependant être fournies en deux mois.

Quelque temps après, c'est une demande de tentes coniques. Or ces tentes

ne peuvent être fabriquées qu'avec une toile de lin, dite toile trois fils, qui est une spécialité du Nord. Il y a nettement impossibilité à s'en procurer. Le Service de l'Intendance offre, pour remplacer les tentes coniques, la baraque Adrian.

Puis ce sont les effets chauds. Il n'en avait jamais été prévu que pour les garnisons des quatre grandes places fortes de l'Est. En doter tout l'effectif représente un effort considérable. On s'emploie à fond à surmonter la difficulté. Elle est partout : l'industrie de la bonneterie manque d'aiguilles spéciales pour ses machines, elle manque de fils de laine ainsi que les nombreuses tricoteuses de bonne volonté qui de toutes parts demandent à travailler pour le poilu.... Cependant des résultats très importants sont obtenus tant par confection que par réquisition d'effets confectionnés dans toute la France ou par importation. Si, dès le premier hiver, le soldat n'a pas reçu tout ce qui lui était nécessaire à ce point de vue là, il faut en accuser surtout des difficultés de distribution.

L'expédition des effets sur les armées est en effet une opération très délicate en raison de la question des pointures. Ni les stations-magasins, ni les magasins régionaux d'habillement, ni les dépôts des corps n'apparaissent bientôt comme susceptibles de la mener à bien. Il faut donc créer des établissements spéciaux que l'on monte en faisant appel à l'expérience de spécialistes, chefs de rayon, contremaîtres et employés de grands magasins. Ce sont les « entrepôts d'effets » qui vont commencer à fonctionner à partir du mois de décembre 1914.

3. — La période d'organisation. Principes d'action.

Telles sont en un bref raccourci les principales opérations de la première période. Malgré tous les obstacles rencontrés, on peut considérer que, dès les premiers mois de 1915, on est maître de la situation. Le moment est venu de s'organiser.

L'organisation adoptée va tendre tout d'abord à réduire au strict minimum l'importation, d'autre part à poursuivre l'exploitation des ressources nationales d'une façon plus méthodique et plus centralisée. La décentralisation avait donné, à défaut d'une organisation préexistante, le maximum de rapidité; mais elle avait présenté des inconvénients. Pendant cette courte période de 5 à 6 mois, les services de l'Intendance de l'intérieur avaient passé plus de 20.000 contrats. Ils avaient donc eu affaire non seulement aux producteurs, mais à des intermédiaires qui leur avaient proposé leurs stocks de marchandises. Il était d'ailleurs très justifié d'acquérir des stocks

constitués avant la guerre, il eût été même coupable pendant les circonstances critiques que l'on avait traversées, de ne pas faire appel à toutes les ressources qui se trouvaient disponibles. Mais ce qu'il fallait éviter pour l'avenir, c'était d'avoir affaire à des commerçants constituant de nouveaux stocks pour venir ensuite les proposer à l'administration. Ce procédé, en effet, entraînait une augmentation forcée des prix; il risquait aussi d'amener des déplacements de marchandises tout à fait illogiques, un négociant pouvant fort bien venir proposer à un Service d'Intendance régional des effets ou objets achetés dans une autre région parfois très éloignée. Seule la centralisation, qui donne des vues d'ensemble, pouvait permettre d'éviter ces inconvénients. Elle fut réalisée d'abord par le Ministère lui-même puis par l'Inspection générale de l'habillement lors de la création de cet organe, en 1915.

Désormais, la méthode d'exploitation des ressources nationales, se caractérisera de la manière suivante :

Exploiter les ressources là où elles se créent et non où on les offre; s'adresser au producteur et non à l'intermédiaire;

Éviter les trop nombreux achats partiels qui font monter les cours;

Déterminer les prix d'achat non en mettant des producteurs en concurrence entre eux, procédé qui, à une époque de sous-production, risquait de mettre l'État acheteur à la merci du vendeur, mais en faisant une étude serrée des conditions de la production;

S'efforcer de placer le producteur dans une situation telle qu'il ait *intérêt* à travailler pour l'État.

La mise en application de ces principes ayant naturellement varié avec la nature des ressources à réunir, nous allons, conformément au procédé que nous avons employé pour les subsistances, examiner leur mise en œuvre en étudiant quelques cas d'espèces.

4. — Les effets de drap.

La laine. — Les importations de drap d'Angleterre effectuées au cours de la première période, et qui avaient porté sur une fabrication difficilement contrôlable, avaient été assez onéreuses. On s'est appliqué à les réduire le plus possible. La première chose à faire était de remonter à la source même de la production en s'assurant la matière première. Dès 1915, la réquisition générale de toute la laine de France fut décidée. Mais on la réalisa en respectant les habitudes du commerce. Depuis un certain nombre d'années, les industriels avaient des acheteurs ou collecteurs qui se mettaient directement en relation avec les propriétaires de troupeaux. Ces collecteurs furent

chargés de réunir la laine pour l'État, en opérant dans leurs régions habituelles suivant un programme déterminé à l'avance. Ils réquisitionnaient les toisons, offraient un prix, suivant qualité, dans la limite d'un maximum arrêté par le Ministre, et en cas d'acceptation transformaient immédiatement la réquisition en achat. Sinon la réquisition était réglée dans les formes ordinaires. La laine était ensuite groupée et expédiée sur un « centre de fabrication de drap (1) » par les soins du président de la Commission de Réception du Ravitaillement la plus voisine, qui prêtait son concours au Service de l'Habillement avec le même dévouement qu'au Service des Subsistances.

Mais la laine ainsi réunie représentait à peine le tiers ou le quart de nos besoins, même avec l'appoint de la réquisition totale de la tonte en Afrique du Nord. La France a toujours été un pays importateur de laine, son cheptel ovin va en décroissant depuis de nombreuses années et l'invasion lui avait fait perdre en outre les ressources provenant des troupeaux de Champagne et de Flandre. Il fallait donc, obligatoirement, recourir à des achats à l'étranger. Leur exécution fut confiée à un comité lainier, composé d'industriels de la région Roubaix-Tourcoing. On réalisait ainsi l'acheteur unique. Le comité lainier opérait d'une part en Australie et en Nouvelle-Zélande, d'accord avec le gouvernement anglais et, d'autre part, en République Argentine, sous la surveillance d'une mission d'achat dirigée par un sous-intendant. Quelques achats à résultats médiocres ont été effectués aussi par un commissaire spécial, en Patagonie, pendant les années 1916 et 1917. En 1917, le gouvernement anglais a réquisitionné toute la laine d'Australie, mais il n'a pas empêché les opérations du comité lainier, sous réserve qu'il se mette d'accord avec le War Office.

L'importation de la laine ne devait pas échapper aux difficultés de crédit et de fret. Ces difficultés ont pris une forme des plus inquiétantes à partir de 1918. A cette date, les avances constituées en 1915 grâce à l'effort des premiers mois de la guerre et qui nous avait permis de traverser l'année 1917, si critique, on l'a vu, pour le service des subsistances, se sont trouvées complètement épuisées. On comptait faire de gros achats en Australie, ce qui simplifiait la question de crédit puisque nous opérions chez nos alliés; l'Angleterre assurait le fret. Or, dès le mois d'avril 1918, pour diminuer leur durée de rotation, les navires britanniques reçoivent l'ordre de débarquer leur laine à la base française de Port-Saïd, d'où nous n'avons aucun moyen de la faire venir; puis il cessent complètement d'assurer le service, le comité interallié des transports maritimes jugeant sans doute qu'il y a des transports plus urgents à effectuer. L'Intendance demande alors à augmenter

(1) Voir la figure 1, p. 56 et 57.

ses achats en Argentine : de ce côté-là, la question du fret aurait été plus facile à résoudre, la laine, fret léger, servant à compléter les chargements de machines et d'acier qui nous arrivent de cette région. Mais alors ce sont des questions de crédit qui amènent notre comité général français des importations, à n'autoriser l'achat que de 4.500 t, quantité absolument insuffisante. Il ne reste plus que la ressource de demander à l'Angleterre 6 millions de mètres de drap tout fabriqués, et cette fabrication ne pourra être livrée qu'au début de 1919. Si donc en 1918 nous n'avions pas eu une autre corde à notre arc, la « récupération » procédé dont il sera parlé tout à l'heure, le ravitaillement des armées en effets de drap eût été compromis.

Les centres de fabrication de drap. Filature et tissage. — La laine provenant de l'importation, était dirigée dès son débarquement par l'intermédiaire du service du transit maritime sur un « centre de fabrication de drap », où aboutissait aussi, nous l'avons vu, la laine de France.

Les centres de fabrication de drap étaient organisés dans les régions d'industrie lainière, du moins dans celles que l'invasion laissait à notre disposition, car cette industrie avait été durement touchée. Le tableau ci-dessous permet de s'en faire une idée en ce qui concerne la filature.

NOMBRE DE BROCHES DE FILATURE DE LAINE EN FRANCE

Laine cardée.		Laine peignée.	
Fourmies et Cambrésis	12.000	Fourmies et environs	912.000
Roubaix-Tourcoing	140.000	Roubaix	308.000
Ardennes	105.000	Tourcoing	475.000
Somme	2.000	Marne	152.000
Marne	54.000	Somme, Pas-de-Calais	104.000
Total	313.000	Total	1.951.000
Seine-Inférieure, Eure	116.000	Seine-Inférieure, Eure	6.000
Belfort	3.000	Belfort	15.000
Mazamet (Tarn)	116.000	Divers	22.000
Vienne	51.000	Total	43.000
Châteauroux	11.000		
Lavelanet (Ariège)	16.000		
Divers	56.000		
Total	369.000		

Heureusement, si l'on peut se permettre cet adverbe devant un pareil tableau, nous n'utilisions pour l'habillement de l'armée que du drap cardé!

Quant aux usines de tissage, étant donné qu'elles sont installées en général à côté des filatures (le même industriel étant fréquemment à la fois filateur et tisseur) leur production correspondait sensiblement à celle des broches. La seule difficulté pouvait être que le drap militaire est très large (140 cm après foulonnage) et qu'il dépasse la largeur maxima qu'il est possible d'atteindre avec beaucoup de métiers. Mais la difficulté pouvait être tournée en tissant le drap en largeur deux fois moindre, soit 70 cm.

Ceci posé, on calcula que, pour faire face aux besoins des armées, il fallait que l'Intendance fît appel à 85 p. 100 de la puissance restante de la production française de drap cardé. Ce résultat fut obtenu à l'aide d'une véritable collaboration entre les industriels et l'administration militaire.

Nous avons dit aux fabricants : nous allons vous donner de la matière première sous réserve que vous l'utiliserez uniquement pour les besoins de l'armée. Nous interviendrons aussi pour vous procurer de la main-d'œuvre, des moyens de transports (puisque l'autorité militaire a la possibilité de concéder des sursis et a la haute main sur les voies ferrées) nous vous aiderons à vous procurer toutes fournitures accessoires. L'État vous rémunérera d'après votre prix de revient. — Ainsi, régime d'association et de contrat : « do ut des ».

Les industriels ont accepté. Dans chaque région d'industrie lainière à laquelle nous avions donné le nom de « centre de drap » (centres de drap d'Elbeuf, de Vienne) a été placé un sous-intendant secondé par le nombre d'officiers d'administration nécessaires, et par quelques spécialistes choisis parmi des industriels mobilisés. Ces derniers jouaient le rôle de conseillers techniques, car si les fonctionnaires de l'Intendance doivent avoir sur les industries du vêtement (comme d'ailleurs de l'alimentation) des connaissances générales, ils n'ont nullement la prétention de tout savoir et ils ne sauraient négliger de prendre l'avis de gens du métier.

Le rôle du sous-intendant directeur du centre va être tout d'abord d'assurer la réception de la laine qui arrive au centre en provenance nous l'avons dit, soit de l'importation, soit des commissions de réception. C'est de la laine en suint qu'il faut laver avant usage : d'où le nom de centre de lavage donné à l'organe de réception (1). Le sous-intendant répartit ensuite la laine entre les filateurs puis entre les tisseurs et il en contrôle l'emploi. Ce contrôle militaire ne peut et ne doit avoir aucun caractère offensant; il est une nécessité puisqu'il s'agit de matériel d'État. Il doit être simplement exercé avec le tact nécessaire quand on s'adresse à des maisons sérieuses. Les conflits à cet égard ont été très rares.

(1) Se reporter à la figure 1, p. 56 et 57.

Le sous-intendant directeur devait en même temps suivre avec la plus grande attention le prix de revient de manière à déterminer les sommes à payer aux fournisseurs et aussi veiller continuellement à ce que ces derniers ne manquent d'aucune des matières qui leur étaient indispensables; charbon, huile de machine, oléine, etc., et matière colorante.

La teinture. L'indigo. — La matière colorante mérite que nous nous y arrêtions un instant. Nous avions besoin d'indigo pour notre bleu horizon. Or la fabrication de l'indigo avait été monopolisée par les Allemands depuis qu'ils avaient réussi à industrialiser la synthèse des couleurs.

Dès la déclaration de guerre, on avait réquisitionné tout l'indigo disponible en France, nous en avions ainsi pour les besoins de notre fabrication jusqu'en mars 1915, mais après? Impossible, malgré les efforts de nos agents consulaires à Londres ou à Rotterdam, de nous procurer des quantités notables d'indigo naturel. Ce produit, détrôné par l'indigo industriel allemand, tend à disparaître et d'ailleurs nos fabricants avaient perdu l'habitude de s'en servir. La situation était très inquiétante : un sous-intendant est spécialement chargé de suivre la question. Il s'y consacre avec opiniâtreté.

Il se rend à Creil où se trouvait une succursale des usines de Hœchst près Francfort et qui livrait de l'indigo en France. Les Allemands se sont gardés de faire des dégâts dans cette succursale quand ils sont passés à Creil au moment de la bataille de la Marne. Ils se sont contentés de brûler la maison particulière du directeur technique, un Français, M. Bourcart, c'est pour ce dernier le meilleur brevet de patriotisme. Le sous-intendant retrouve M. Bourcart mobilisé comme garde-voie de communication; il l'amène à Creil. M. Bourcart indique qu'il fabrique l'indigo en partant d'un produit la phénylglycine qu'il reçoit de Francfort tout fabriqué, dont il a encore un certain stock, mais dont il ignore la composition et le mode de fabrication. Laissant M. Bourcart remettre l'usine en état et reprendre la transformation de son stock de phénylglycine, le sous-intendant fait appel à M. Behal, directeur de l'Office des Produits chimiques. Celui-ci ne tarde pas à indiquer que la phénylglycine peut s'obtenir par action de l'acide monochloracétique sur l'aniline. L'aniline, le Service des Poudres peut en passer à l'Intendance, mais l'acide monochloracétique n'a jamais été fabriqué en France. Après bien des démarches, on décide une maison d'Ivry à entreprendre cette fabrication. Au début, il se produit des déboires inévitables. L'outillage indispensable manque, notamment des vases en grès; comme ceux-ci ne peuvent être rapidement livrés, on tente de les remplacer par des appareils en verre. La difficulté de trouver des souffleurs en verre, tous

mobilisés (1), amène de nouveaux retards, puis les appareils en verre cassent. Enfin, le 15 mars 1915, on peut avoir les vases en grès, et la fabrication de l'acide monochloracétique est menée à bien. Quelques jours après, à Creil, — au bruit du canon qui empêcha cet événement d'avoir dans notre pays le retentissement qu'il aurait dû, — grâce aux efforts combinés d'un savant, de quelques industriels, et d'un fonctionnaire de l'Intendance, chacun agissant dans sa sphère d'activité propre, mais en étroite union, — la France remportait une véritable victoire en réalisant pour la première fois, d'une manière industrielle, la synthèse de l'indigo. Le monopole allemand avait vécu!

La confection des effets. — Le drap, après fabrication, est pris en charge par la gestion du centre de drap. Il s'agit maintenant de faire confectionner des effets.

Alors que la fabrication du drap a été concentrée dans les régions d'industrie lainière, la confection des effets va être organisée sur toute l'étendue du territoire, de manière à utiliser en même temps que nos entrepreneurs du temps de paix tous les entrepreneurs nouveaux et tous les ouvroirs qui existent un peu partout. Elle sera donc dirigée dans chaque région de corps d'armée par le sous-intendant chargé du service de l'habillement dans la région.

Mais ici va se poser la question de la coupe. La coupe se fait à l'aide de jeux de patrons établis suivant les types d'effets et les pointures. Mais c'est tout un art que de disposer des patrons sur une étoffe pour tirer de celle-ci le maximum de rendement en morceaux découpés et ce maximum de rendement il faut l'obtenir à tout prix pour ménager la précieuse matière première. L'Intendance organise alors des ateliers de coupe montés sur un type tout à fait moderne à l'aide de spécialistes qualifiés. Le principe est bien connu : on déploie la pièce de drap à couper sur une longue table, de manière à former un matelas de 25 à 30 épaisseurs superposées. D'autre part, on dessine sur un carton, par perforation de trous successifs, la combinaison de patrons qui donne l'emploi le plus économique de l'étoffe : c'est le gabarit. Le gabarit est placé sur la partie supérieure du matelas de drap et on passe de la craie sur les lignes perforées de manière à en reproduire les dessins sur l'étoffe. Ceci fait, un ouvrier coupeur, muni d'une machine à couper (lame très tranchante à laquelle un moteur électrique imprime un mouvement vertical très rapide de va-et-vient), découpe tout le matelas à la fois en suivant les lignes du tracé. Il faut évidemment qu'il ait la main sûre.

(1) Parce que tous jeunes : le métier de souffleur use, on le sait, rapidement son homme.

Après découpe, les différentes pièces d'un même effet sont réunies par paquets et remises par l'atelier de coupe aux entrepreneurs de confection. La production de ceux-ci sera ensuite reçue et vérifiée au magasin de la région qui alimentera les entrepôts d'effets ou les dépôts des corps.

Tel est le cycle de production des effets de drap et aussi des couvertures obtenues par des procédés analogues. Il est un peu compliqué, le schéma de la figure 1, p. 56 et 57 permettra de le suivre plus facilement.

Résultats obtenus. — Cette organisation appelle les remarques suivantes : Elle a été très avantageuse pour l'État puisque le mètre de drap ne revenait pas à plus de 16,50 f en 1918 contre 10 f en temps de paix. Elle n'a pas été désavantageuse pour l'industrie lainière française que nous laissions à l'armistice en plein état de rendement. Surtout, elle nous a permis d'arrêter à peu près complètement nos achats de drap à l'étranger. En dehors de la laine brute, et bien entendu après les achats des premiers mois en Angleterre, nous n'importerons guère annuellement que 1.000.000 m de drap kaki, soit à peine le trentième de nos besoins. Ce n'est qu'à la fin de 1918, à la suite des incidents que j'ai déjà indiqués au sujet de l'importation de la laine brute, que nous serons obligés de faire une commande importante de drap fabriqué en Angleterre. Pour les couvertures, les achats à l'étranger resteront plus élevés et atteindront 3.000.000 de ces effets par an, soit la moitié environ de nos besoins.

Ainsi nous avons réalisé notre principe d'action de pousser au maximum l'exploitation des ressources nationales. On nous a même reproché d'être allés trop loin et d'avoir fait monter le prix de la vie en accaparant pour les besoins de l'armée une part trop considérable, 85 p. 100, nous l'avons vu, de la production de cardé. A cela, il est possible de répondre qu'il était nécessaire, avant tout, d'assurer les besoins de l'armée malgré les difficultés de fret et de crédit.

Les courbes ci jointes vous donnent une idée, pour les capotes prises à titre d'exemple de la production et de la consommation des effets en drap pendant la guerre. Elles mettent en relief l'effort considérable de production du début qui donna son plein effet au début de 1915. Elles soulignent la crise de production de la fin de 1918 par suite du manque de laine. Je vous signale aussi les variations très importantes de la consommation : pour pouvoir faire face sans à-coup à des demandes si différentes, il était indispensable d'avoir un gros volant et on a été pour cela dans la nécessité de doubler les entrepôts d'effets d'un certain nombre de « réserves générales d'effets ».

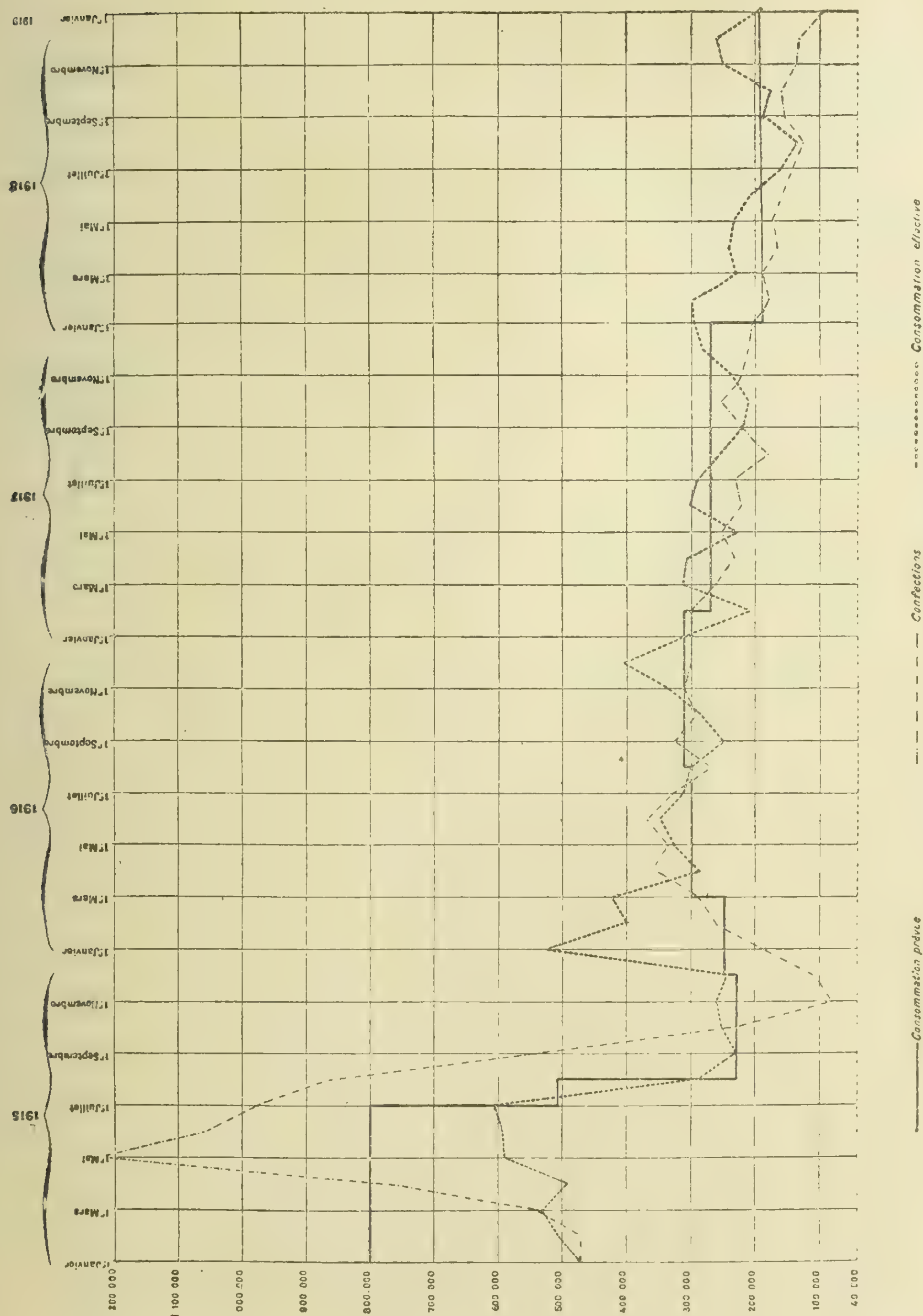


Fig. 3. — Production et consommation des capotes de troupe pendant la guerre 1914-1918.

5. — Le service des cuirs.

Notre organisation de production des effets de drap avait incontestablement un caractère étatiste mitigé par une véritable collaboration entre producteurs et administrateurs. Nous allons retrouver le même caractère dans le service des cuirs et de la chaussure. Ici encore nous avons mis à la base du système la prise de possession par l'État de la matière première par la réquisition générale.

Les besoins de l'armée en cuir étaient considérables. Non seulement il fallait fournir aux troupes leurs chaussures et leur équipement (ceinturon, bretelles de suspension, courroies de sac, etc.), ce qui rentrait dans les attribution de l'Intendance, — mais encore l'artillerie en utilisait des quantités très importantes pour le harnachement de ses chevaux, le service automobile pour ses antidérapants, etc. Il fallait éviter entre ces différents services d'État des actions concurrentes et contradictoires. L'Intendance reçut la mission dès 1915 de jouer le rôle de fournisseur général de cuir vis-à-vis de tous les services de l'armée. Pour cela elle dut procéder à la réquisition des cuirs et de l'industrie du cuir en France. Réquisition, on le voit, en quelque sorte en deux stades.

Premier stade : réquisition des cuirs verts. Comme pour la laine, on respecta dans cette réquisition les habitudes générales du commerce. Les cuirs des animaux abattus sont en général réunis par des collecteurs qui les prennent chez les bouchers et les revendent aux tanneurs. Les collecteurs opérèrent désormais pour le compte de l'État moyennant une prime de collecte. Le cuir pouvait d'ailleurs être payé immédiatement au boucher par transformation de la réquisition en achat s'il acceptait les prix de l'administration.

La réquisition fut étendue à l'Afrique du Nord y compris le Maroc, à Madagascar et à l'Afrique occidentale française. Le Service de l'Intendance disposait en outre des peaux provenant des abats militaires.

Deuxième stade : réquisition de la totalité de la production des tanneries. Toutes les tanneries d'une région furent rattachées à un centre de tannage placé sous la direction d'un sous-intendant. Celui-ci était président d'une Commission composée d'officiers, d'experts et aussi, pour permettre aux représentants de la corporation de faire entendre leur voix, de négociants ou anciens négociants en tannerie. La Commission visitait périodiquement toutes les tanneries de la région, se faisait présenter tous les cuirs tannés, prenait tous ceux qu'elle jugeait utilisables pour les besoins de l'armée, rejetait les autres et *remplaçait seulement les premiers* par les cuirs verts que les collecteurs ou les centres d'abat militaire dirigeaient sur les centres de tannage.

Le tanneur était donc mis dans l'obligation de fournir du cuir à l'administration militaire, sinon celle-ci l'aurait privé complètement de matières premières. Le sous-intendant du centre de tannage avait d'ailleurs des pouvoirs très étendus. Aucun cuir ne pouvait sortir de chez un tanneur, ni circuler sans son autorisation. Il avait un droit absolu de visite des établissements et de contrôle de la fabrication. Par contre, il intervenait constamment pour aider la production, pour faire obtenir aux tanneurs les mises en sursis de spécialistes qu'il jugeait justifiées, pour leur procurer les matières premières indispensables à leur industrie. Les matières tannantes étaient naturellement parmi les plus importantes de ces dernières, et elles nécessitèrent toute une organisation. Pour l'écorce de chêne, il fallut réorganiser la petite industrie secondaire qui la prépare et que la mobilisation avait complètement arrêtée, obtenir de l'administration des forêts qu'elle interdît l'abatage des arbres « en gris », c'est-à-dire avant écorçage, faire concéder des sursis aux spécialistes, donner aux entrepreneurs des moyens de transport et de la main-d'œuvre, enfin, répartir leur production entre les tanneurs. De même on réorganisa la fabrication de l'extrait de châtaignier. On profita d'ailleurs de l'aide que l'on apportait ainsi aux industriels pour réglementer le prix des matières tannantes. Enfin, le Service de l'Intendance par sa mission d'achat en République Argentine, assura l'importation d'une matière tannante spéciale, et actuellement très employée, l'extrait de québracho.

Tel est le régime qui a été imposé à l'industrie de la tannerie en France pendant la guerre. Il présente un singulier mélange d'aide et de coercition. Il faut juger l'œuvre à ses résultats

Au point de vue industriel proprement dit, la tannerie française a perfectionné ses méthodes d'une manière incontestable. De son côté le Service de l'Intendance a pu faire des observations très fructueuses sur les procédés modernes de tannage, notamment sur le tannage rapide dont je n'ai pas besoin de souligner l'importance au point de vue militaire.

L'organisation adoptée a eu surtout le mérite de permettre de suffire à tous les besoins de l'armée, y compris les services dont l'Intendance s'était faite le fournisseur, avec la seule production nationale. Malgré la diminution de notre cheptel, et la perte des importantes tanneries du Nord et du Nord-Est, l'importation n'a plus été nécessaire que pour une quantité peu importante de peaux vertes que l'on a fait venir d'Argentine.

Les cuirs acceptés par la Commission du centre de tannage étaient groupés par la gestion du centre et expédiés de là soit aux différents services de l'armée, soit aûx fabricants de chaussures. Par application de la

méthode que nous avons vu utiliser pour les effets de drap, alors que les centres de tannage n'existaient que dans les régions où cette industrie est développée (1), la fabrication des chaussures avait été organisée dans tout l'ensemble du territoire sous la direction des services de l'Intendance de chaque région de corps d'armée, de manière à bien utiliser toute la main-d'œuvre disponible. Faute de spécialistes et de matériel, on n'avait pu organiser des ateliers de coupe (qui auraient présenté pour les chaussures les mêmes avantages que pour les effets de drap), que dans le gouvernement militaire de Paris et dans la 12e région. Les cuirs tannés étaient donc remis en général aux fabricants directement, ceux-ci envoyaient ensuite les chaussures confectionnées au magasin administratif de la région chargé d'approvisionner les entrepôts d'effets et les dépôts (2).

La production des fabricants de chaussures de France a été suffisante pour tous les besoins de l'armée. Mais il a fallu leur venir continuellement en aide pour leur fournir en même temps que le cuir, tout ce qui leur était nécessaire : des aiguilles, des alènes, du fil, que l'on importait d'Angleterre, des clous pour lesquels on faisait venir des fils d'acier spéciaux dits « fils machine » qui permettent de les fabriquer par estampage. Bien entendu, comme contre-partie, on a maintenu le prix des chaussures dans des limites raisonnables, entre 20 et 22 f la paire.

Quant à la répercussion de la réquisition générale des cuirs sur la « vie chère », on sait que le Service de l'Intendance s'est efforcé de l'empêcher en fournissant au Ministère du Commerce les cuirs nécessaires pour fabriquer la « chaussure nationale ».

Pour compléter ces indications rapides sur le cuir et les chaussures, je mets sous vos yeux la courbe de production et de consommation des brodequins. Là aussi il est intéressant de noter le gros effort de production du début de 1915, et surtout les variations considérables de la consommation. On se rend compte des à-coups qu'elles devaient entraîner dans le fonctionnement des entrepôts chargés des expéditions aux armées et du volant dont devaient disposer ces établissements, et comme approvisionnements et comme main-d'œuvre, pour que le ravitaillement des armées n'en fût pas affecté.

(1) Centres de tannage de Paris, Rouen, Tours, Limoges, etc.
(2) Voir fig. 1, p. 56 et 57.

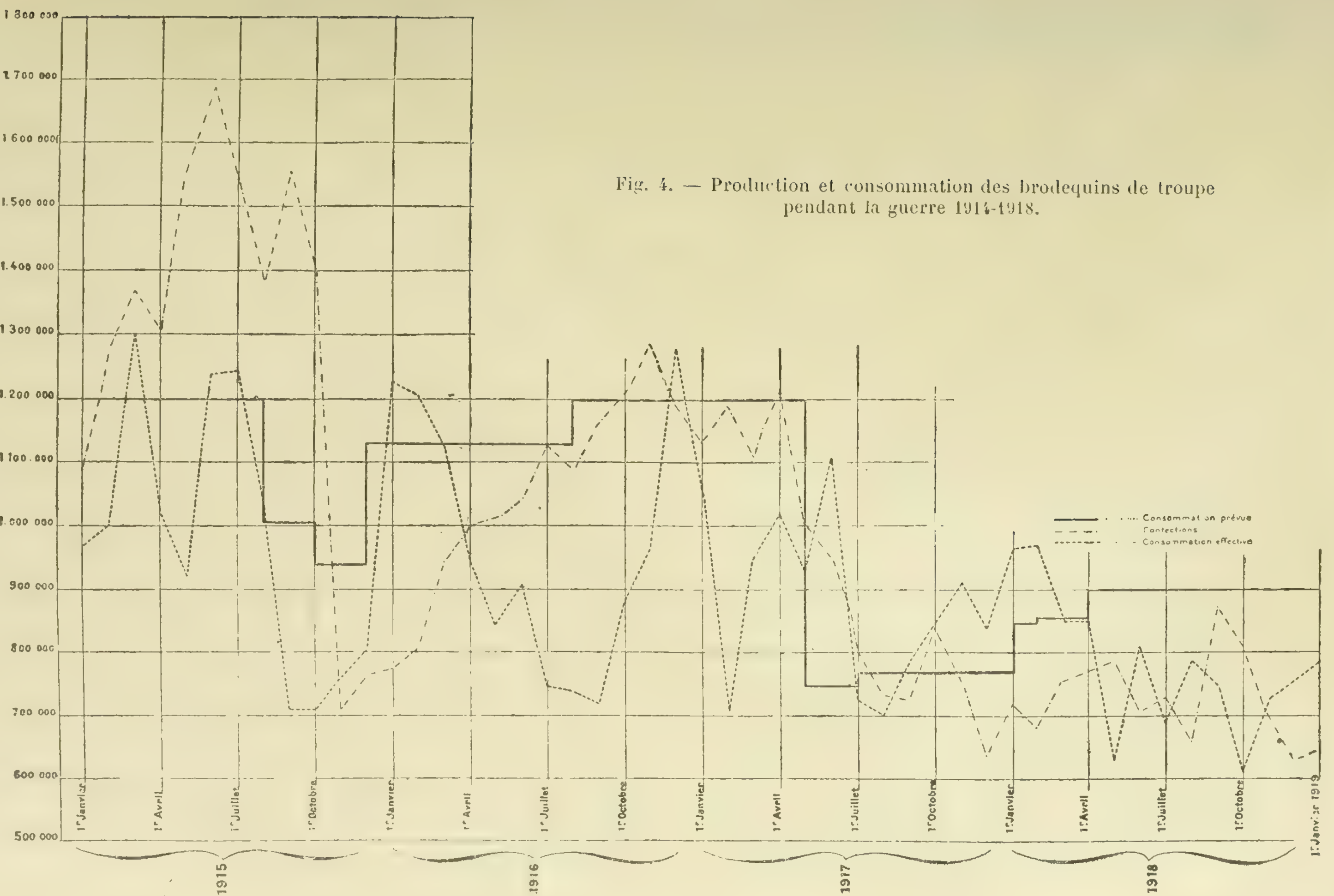


Fig. 4. — Production et consommation des brodequins de troupe pendant la guerre 1914-1918.

6. — Le coton.

A côté des tissus de laine et du cuir, il faut placer comme matière indispensable au service de l'habillement les tissus de coton. Ces tissus nous étaient d'autant plus nécessaires qu'il a été impossible d'utiliser les tissus de lin que nous employions avant la guerre pour d'assez nombreux effets : bourgerons, pantalons de treillis, effets de couchage. L'industrie du lin était en effet presque entièrement concentrée dans le Nord, tant comme culture de la plante que comme filature et tissage. D'autre part, le lin de Russie nous manquait.

L'industrie du coton avait été moins gravement atteinte par l'invasion que celle de la laine, ainsi que l'indique le tableau ci-dessous, basé sur l'unité de production qui est aussi la broche.

Nombre de broches de filature de coton en France.

Nord : Somme, Aisne	2.100.000	2.100.000
Est : Vosges, Meurthe-et-Moselle, Haute-Saône, Doubs, Belfort	2.375.000	
Ouest : Normandie, Mayenne, Eure-et-Loir	1.330.000	5.625.000
Divers	1.720.000	
Total		7.525.000

Le Service de l'Intendance n'a pas cherché d'ailleurs pour le coton comme pour la laine, à tirer le maximum de cette production pour les besoins de l'armée. La question se posait d'une manière toute différente. Nous avions à notre disposition le marché anglais remarquablement bien approvisionné et qui nous fournissait des tissus de coton à des prix inférieurs à ceux des fabricants français. D'autre part, la nécessité d'un contrôle rigoureux de la fabrication ne s'imposait pas pour les tissus de coton comme pour les tissus de laine. Il n'y avait pas non plus d'inconvénients majeurs au point de vue du crédit à opérer chez notre alliée (1). Enfin, au point de vue du fret, il y avait intérêt à faire venir 1 kg de tissu de coton tout manufacturé d'Angleterre, au lieu d'importer 1.200 g de coton brut d'Amérique et 4 à 5 kg de charbon d'Angleterre pour permettre la confection en France du même tissu.

En conséquence, pendant les trois années 1915, 1916 et 1917, on s'est contenté de demander par achat au commerce français ce qu'il fournissait sans contrainte. Les achats étaient centralisés par l'Inspection générale de l'Habillement pour réaliser l'acheteur unique. Le surplus était importé d'Angleterre (2).

(1) Du moins pendant la guerre.

(2) Sur les 20.000.000 m de tissus de coton nécessaires par mois, 14.000.000 en moyenne ont été fournis par l'industrie nationale et 6.000.000 par l'Angleterre.

A partir de la fin de 1917, la situation changea. Le prix des tissus de coton s'était élevé jusqu'à ce moment-là d'une façon que l'on pouvait considérer comme normale. Mais avec la crise intense du fret, les importations de coton brut par l'industrie privée devinrent de plus en plus difficiles. La rareté des arrivages entraîna une hausse considérable accompagnée de fluctuations déconcertantes des cours. Les fabricants en profitèrent pour élever le prix de leur production dans des proportions d'autant plus fortes qu'ils étaient assaillis de commandes civiles supérieures à ce qu'ils pouvaient fournir. Dans ces conditions le Service de l'Intendance se trouva mis en présence de prétentions très élevées. Au même moment, les services du Ministère du Commerce, inquiets de cette situation au point de vue général, s'efforçaient d'y remédier par la création d'un consortium des fabricants de coton en monopolisant l'achat du coton brut à l'étranger. L'Intendance se tourna vers ce consortium et lui demanda de lui fournir de la matière première de manière à réaliser avec un certain nombre de filateurs de coton le même système que pour la laine. L'organisation était en voie de développement au moment où est intervenu l'armistice.

7. — Fabrications et effets divers.

Nous n'entrerons pas dans le détail de la confection des effets de coton, pas plus que des diverses fabrications qu'a eu à assurer le service de l'habillement. Ce serait alourdir sans profit cette étude déjà longue et qui ne peut avoir pour objet que de dégager les grandes lignes de la question. Je me bornerai à vous signaler encore quelques points.

Parmi les effets dits « spéciaux », *chapes*, *bottes de tranchées*, etc., il en est qui ont eu une importance particulière, ce sont les *effets imperméabilisés*. Au début on avait cherché seulement l'imperméabilisation contre la pluie, et l'on avait doté les travailleurs de l'arrière de bourgerons en toile huilée. Cette fabrication avait été difficile à mettre au point. Après pas mal de tâtonnements, quelques maisons étaient arrivées à l'exécuter convenablement lorsque l'on nous demanda de fournir d'extrême urgence des effets imperméabilisés contre les gaz car l'ypérite venait d'apparaître sur le champ de bataille. Heureusement la même fabrication put être employée sous réserve de soumettre le tissu à un double bain d'imperméabilisation. Ainsi, sans être obligé de perdre un temps qui était à ce moment-là particulièrement précieux, on a pu faire face à ce nouveau besoin avec le maximum de rapidité.

Nous avons eu à fournir de jute tous les services de l'État, militaires ou

civils, pour fabriquer avec ce textile grossier les *sacs à terre*, *sacs du ravitaillement*, *toiles de camouflage*, *cordes*, *cordages de la marine*, etc.

En août 1917, le commandant en chef nous a demandé de fournir *en trois mois* tout le matériel nécessaire pour les cantonnements de repos, soit 1.500.000 *lits*, 125.000 *tables*, 215.000 *bancs*. La livraison a été assurée au prix d'un effort qui a dû être particulièrement intensif.

Enfin je vous dirai deux mots du *casque*. Il s'agissait de trouver une coiffure donnant le maximum de protection, tout en restant très légère. Le métal employé devait être suffisamment résistant et de plus, quand il était traversé par un projectile trop puissant, être susceptible de se déchirer à la manière d'une simple feuille de papier sans produire des éclats qui auraient aggravé la blessure. Il fallait un métal pouvant être embouti à froid, l'emboutissage à froid augmentant la résistance de l'acier tandis que l'emboutissage à chaud la diminue. Enfin il fallait pouvoir organiser rapidement une fabrication à grand rendement.

Divers modèles furent proposés qui avaient la caractéristique de coûter de 30 à 35 f.; de plus, les fabricants demandaient un délai de deux ou trois ans pour en doter l'effectif. L'Intendance proposa alors le casque Adrian qui revenait à 3,50 f environ et dont la fabrication pouvait être très rapidement poussée. Son modèle fut adopté en avril 1915. Au mois de juillet 200.000 casques étaient déjà livrés; en août, la fabrication atteignait 25.000 par jour, en septembre, 55.000, de telle sorte que pour l'offensive de Champagne et d'Artois, le 25 septembre 1915, la quasi-totalité de l'effectif en était munie.

Notre casque a permis de sauver bien des vies précieuses; il est entré maintenant dans l'histoire, car il fait partie intégrante de la silhouette glorieuse du vainqueur de la grande guerre. L'Intendance garde donc la légitime fierté de cette création; elle en fait comme le symbole de son désir passionné d'être utile au combattant.

8. — La récupération.

Quelques chiffres peuvent donner une idée de l'importance de l'effort qu'a fourni le service de l'habillement. Le tableau ci-après indique les plus essentiels.

Mais il ne suffisait pas de produire. Il fallait aussi en raison de la pénurie croissante des matières premières, tirer le parti maximum des ressources réunies. Ce principe a été un des principes d'action fondamentaux du Service de l'Intendance pendant la guerre, et il a eu pour conséquence l'organisation des services de récupération; ces services ont eu pour l'habillement une importance de premier ordre.

Opérations du service de l'habillement pendant la guerre 1914-1918 (1).

Désignation des effets	Nombre d'effets envoyés au front (1)	Effets usagés renvoyés à l'arrière	Effets récupérés pour l'usage	
			du front.	des dépôts.
Capotes	15,5	6,7	1,8	1,9
Manteaux	1,5	0,6	0,07	0,17
Pantalons et culottes	31	13	0,8	3
Vareuses	21,5	9	0,9	1,6
Brodequins de marche	41	15	1,2	6
Brodequins de repos	9	0,9	0,15	1,1
Chemises	63	9	0,7	1
Caleçons	58	8	2,9	0,9
Chaussettes	78	6,7	2,1	0,3
Couvertures	23	7	3,5	1
Jersey, tricots, chandails	19	2,1	0,9	0,5
Chapes	7	1,9	0,7	0,14
Tentes individuelles	14	1	0,07	0,18
Gamelles individuelles	13	1,9	1,06	0,8
Bidons	16	2	0,5	0,3
Bretelles de fusil	9,5	1,8	1,2	0,15
Bretelles de suspension	8,3	1,9	1,4	0,20
Ceinturons	9,8	1,9	1,10	0,16
Cartouchières	24	6,5	3,5	0,60
Havresacs	8,5	3,4	2	0,35

(1) Effets envoyés directement par les entrepôts aux armées ou employés par les dépôts pour habiller ou équiper les hommes de renfort.

Dès les premiers mois de 1915 le Service de l'Intendance avait demandé que l'on renvoyât sur l'arrière tous les effets usagés quel que fût leur état. Mais il faut bien reconnaître que ce courant en retour fut assez long à s'établir et que jamais les instructions données à ce sujet n'ont été très strictement exécutées. Le tableau qui vous donne le chiffre des expéditions sur l'avant, vous donne en regard celui des retours. En somme la proportion des réexpéditions a été dans le cas le plus favorable de 50 p. 100 alors que l'on aurait dû renvoyer un effet usagé pour chaque effet neuf fourni.

(1) L'unité employée dans ce tableau est le *million d'effets* : capotes 15,5 veut donc dire 15.500.000 capotes. On s'est amusé à calculer que le nombre de mètres de drap employé, 120 millions, représentait 3 fois le tour de la terre et le nombre de mètres de toile de coton, 1 milliard, 25 fois le tour de la terre ; que le poids des clous à chaussures utilisés était égal au poids de mille canons de 75....

Le service de l'habillement a fait, en outre, des cessions à différentes armées alliées représentant une valeur de 100 millions de francs.

Quoi qu'il en soit, on a tiré le plus grand parti des effets renvoyés, soit, c'est la *récupération proprement dite*, en les remettant en état pour être employés conformément à leur première destination, soit en utilisant leurs diverses parties pour les différents usages auxquels elles pouvaient convenir.

Pour les capotes par exemple, sur les 7 millions renvoyées à l'arrière 1.800.000 ont été utilisées à nouveau pour les expéditions aux armées après avoir été nettoyées et souvent retournées, 1.900.000 ont pu être employées pour habiller les hommes des dépôts à l'intérieur. Avec les autres, on a confectionné des couvertures de bidons, des coiffes de casques, des bonnets de police, des pattes d'épaules, etc. Les morceaux trop petits ont été envoyés sur les centres de drap, effilochés, mélangés ensuite aux toisons des moutons avant la filature de manière à servir à nouveau de matière première. C'est le procédé de la « renaissance » que nous proscrivions formellement en temps de paix mais que la nécessité nous obligeait à employer à notre tour. Les tissus contenant de la renaissance ont d'ailleurs été utilisés pour les seules vareuses à l'exclusion des capotes et des culottes.

Sur les 15 millions de brodequins réexpédiés 1.200.000 ont été réutilisables pour le front et 5.000.000 pour les dépôts.

Les vieux chandails étaient détricotés et leur laine servait ensuite à faire des chaussettes, les morceaux de toile de coton étaient ou livrés au Service des Poudres ou passés comme chiffons de nettoyage à l'Artillerie, au Service automobile ou à l'Aviation; les casques étaient débosselés, repeints, et réutilisés comme neufs, etc.

Les économies réalisées se chiffrent en deniers par millions. Au point de vue des matières on peut dire que c'est la récupération qui a permis au service de l'habillement de mener à bien sa tâche jusqu'à la fin de la guerre. Il est incontestable que, pendant les derniers mois, la production des établissements de ce service comme celle de toute l'industrie française se paralysait de plus en plus : manque de matières premières, manque de main-d'œuvre et crise des transports causaient, nous l'avons déjà dit, cette situation. La crise des transports nous empêchait même de ravitailler nos entrepôts d'effets. C'est ainsi que pendant les longues marches qui ont suivi l'armistice, des régiments manquaient de brodequins, tandis que dans certains magasins régionaux on ne savait plus où loger les chaussures dont on était encombré.

Ainsi se vérifiait une fois de plus la justesse du principe posé par l'intendant Odier qui professait le cours d'intendance en campagne à l'École d'État-Major, il y a une centaine d'années : « Ce n'est pas tout d'avoir des approvisionnements, il faut encore pouvoir leur donner le mouvement. »

V. — Organisation des stations-magasins et des établissements analogues.

Je crois utile, pour compléter mon étude, d'exposer rapidement comment nous avions organisé pour en obtenir le maximum de rendement les établissements où nous groupions les ressources réunies pour être prêts à donner satisfaction aux demandes des armées.

Avant la guerre, on n'avait prévu qu'un seul type d'établissement expéditeur, celui de la station-magasin, qui centralisait toutes les expéditions de matériel et de denrées du Service de l'Intendance à effectuer aux armées.

Pendant les hostilités on n'a pas tardé à s'apercevoir que la tâche imposée à cet établissement unique était beaucoup trop complexe, et, pour réaliser une judicieuse répartition du travail, on a spécialisé ce que l'on pourrait appeler les « magasins d'expédition ». C'est ainsi que l'on a été amené à créer successivement les divers organes dont le nom a déjà été cité au cours de cet exposé : entrepôts d'effets pour le Service de l'Habillement, entrepôts de viande congelée dans les ports, centres de denrées d'ordinaires, etc. On a d'ailleurs été obligé, étant donnée l'extension prise par le ravitaillement en vivres par l'arrière, d'augmenter le nombre des stations-magasins proprement dites.

Malgré leur diversité, ces établissements ont été organisés d'après des principes communs que je vais m'efforcer de mettre en lumière; nous verrons ensuite leur application particulière aux cas de la station-magasin et de l'entrepôt d'effets.

1. — Principes d'organisation. L'industrialisation.

Les établissements qui avaient été organisés avant la mobilisation avaient tous été conçus en s'inspirant du principe unique d'être en mesure de donner rapidement satisfaction aux besoins des armées : d'où le type de la station-magasin, établissement raccordé, comme son nom l'indique, à la voie ferrée. Elle présentait essentiellement deux faisceaux de voies ferrées : le premier, qui permettait de recevoir les trains provenant des services de l'intérieur et de former les trains à destination des armées; le second, qui desservait les différents organes de l'établissement disposés le long de ses voies. Nous verrons, tout à l'heure, l'énumération de ces organes.

Pendant la guerre, une autre conception est venue compléter la première. Il faut chercher son origine dans les transformations subies par la main-d'œuvre utilisée par le Service de l'Intendance pendant les hostilités.

A la mobilisation, nous disposions à l'intérieur, comme aussi aux

armées, de commis et ouvriers de toutes classes y compris l'active et la réserve, ayant fait leur service dans les troupes spéciales du Service de l'Intendance (1), professionnels robustes et adroits dont on pouvait tirer un excellent rendement. Dès la fin de 1915, ces hommes ont été versés dans les armes combattantes, sauf ceux des classes les plus anciennes, et remplacés, nombre pour nombre, par des réservistes territoriaux et par des hommes du service auxiliaire très inférieurs aux premiers comme valeur physique et professionnelle. Dès le milieu de 1916, la crise d'effectifs s'accentuant pour l'ensemble de l'armée, le Commandement nous a invités à remettre à sa dispostion le plus grand nombre d'hommes possible et à les remplacer par tous les éléments que nous pouvions trouver : civils français et étrangers, femmes, travailleurs coloniaux. Pour assurer l'exécution de ces prescriptions, il fut établi, pour chaque établissement, ce que l'on appela le « plan de remplacement » indiquant tous les emplois dans lesquels on devait cesser d'employer des militaires, dès que la main-d'œuvre destinée à leur être substituée aurait été recrutée. Ce plan de remplacement devait être constamment tenu à jour, de manière à tenir compte des modifications successives qui pouvaient être apportés à l'établissement. Il était soumis à l'approbation du général commandant la région lui-même : c'est dire l'importance qu'on y attachait.

Il y avait un intérêt supérieur à ce que le Service de l'Intendance entrât résolument dans les vues du Commandement et surmontât les difficultés pratiques que soulevait l'exécution de ces mesures. Il fallait, en même temps, éviter à tout prix que le rendement de nos établissements fût atteint par la diminution de la valeur de notre main-d'œuvre. On a eu recours, pour atteindre ce double résultat, au procédé désigné dans les textes officiels sur la matière par le terme « industrialisation ». Il a consisté à intéresser le personnel à la production en instituant des primes de rendement, à faire le plus largement possible appel à la machine, enfin à *organiser* le travail.

Ce procédé n'est que l'application des nouvelles méthodes d'organisation du travail industriel, méthodes dont votre Société a toujours suivi la mise en application avec l'attention qu'elle apporte à toute idée de progrès, et au sujet desquelles ont été faites ici même, en 1919, cinq remarquables conférences.

Pour vous donner une idée de la manière dont l'Intendance a mis en œuvre ces principes nouveaux, je prendrai pour exemple une station-magasin du type représenté par la figure 5.

(1) Le Service de l'Intendance dispose, à raison de une par corps d'armée en moyenne, de sections de commis et ouvriers comprenant ainsi que leur nom l'indique des commis pour les travaux de bureau et des ouvriers, soit spécialistes (bouchers, boulangers, électriciens, etc.), soit simples manutentionnaires.

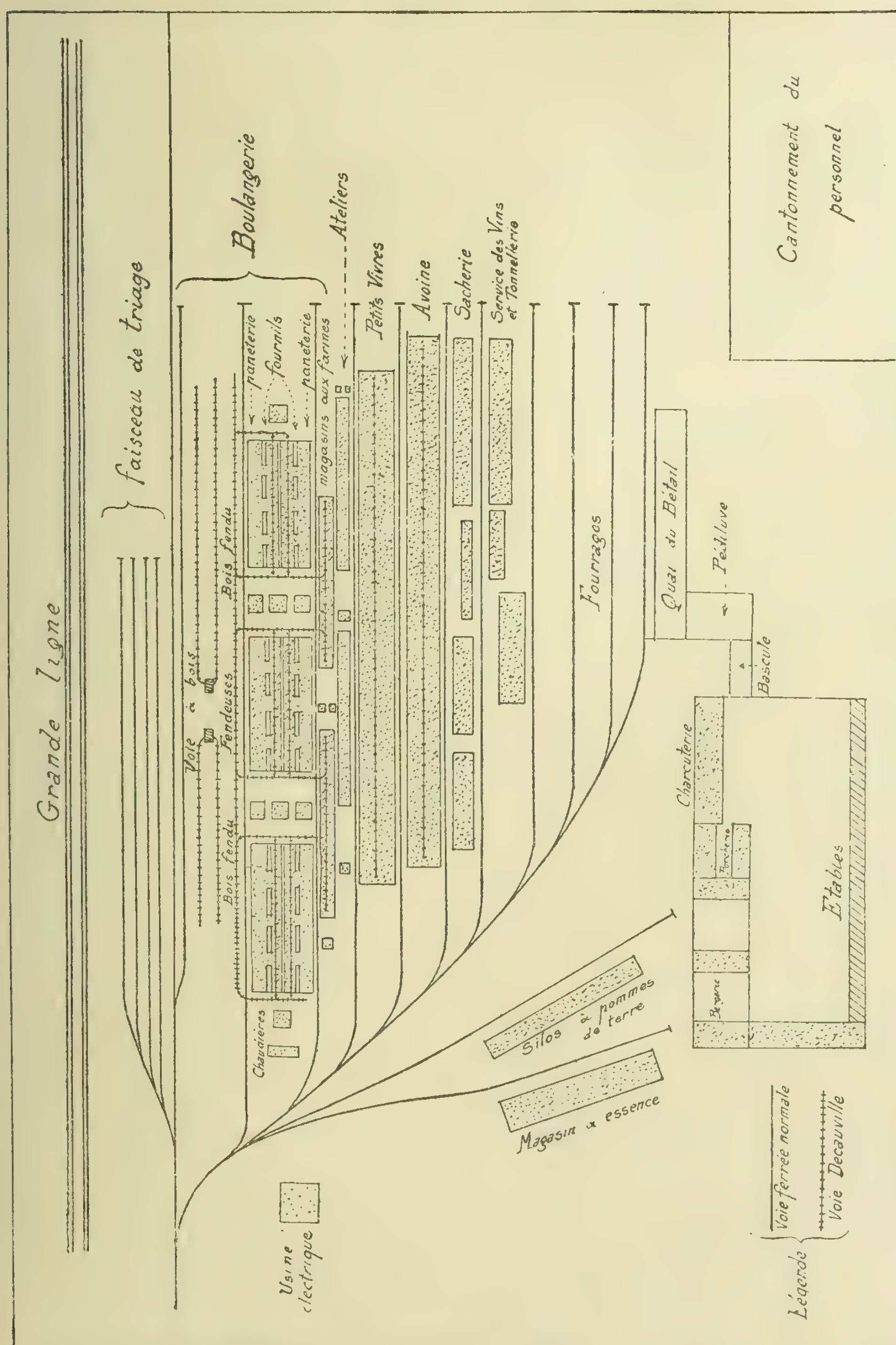


Fig. 5. — Type de station-magasin.

2. — Description sommaire d'une station-magasin.

Le dispositif d'ensemble, au point de vue des voies ferrées, est celui que nous avons déjà indiqué : faisceau ou « plateau » d'arrivée ou de départ et faisceau de l'intérieur de la station-magasin. Il permet très commodément, on le voit, de faire le triage des wagons venant des expéditions de l'intérieur, de les envoyer sur les bâtiments où sont entreposées les denrées ou matières de même nature, puis, pour l'opération inverse, de venir prendre les wagons chargés à destination des armées et de les former en trains complets. La règle générale à appliquer par le service, pour faciliter le plus possible l'utilisation du matériel roulant, est de commencer toujours les chargements et déchargements par les wagons placés du côté de la tête de faisceau. Je signale aussi que ce dispositif de voies et de magasins est très facilement extensible, si l'on veut augmenter l'importance de la station.

Examinons rapidement les principales parties. D'abord la boulangerie. Elle comprend 72 fours groupés par « fournils » de 12 fours chacun accolés dans le sens de la longueur. Dans chaque fournil, deux pétrins mécaniques, mus à l'électricité, desservent chacun six fours. L'eau froide et chaude est amenée directement aux pétrins, l'eau chaude provenant de chaudières placées entre les groupes de fournils. Restent le bois et la farine. Les sacs de farine arrivent par Decauville des deux magasins à farine placés à proximité des fournils. Ces magasins sont munis de « fourmis », sorte de tapis roulants, dont une partie est susceptible de prendre une inclinaison variable, et qui permettent, par suite, d'effectuer, sans grand effort des manutentionnaires, des déplacements horizontaux et verticaux, de porter, sans qu'il soit besoin d'employer des « forts de la halle », les sacs du wagon ou wagonnet au magasin et inversement et de les empiler en magasin sur l'épaisseur convenable.

La question du bois est particulièrement importante. Les aide-mémoire d'avant-guerre prévoyaient une consommation de bois d'environ 350 kg pour 1.000 rations fabriquées. Ce bois doit être fendu avant emploi. On conçoit le travail que représentent des manutentions de cette nature dans un établissement qui fabrique, comme Mignières, de 120.000 à 150.000 rations par jour. Tout a été disposé pour le simplifier. Le bois, apporté par le chemin de fer, se décharge sur la voie marquée A sur le croquis. Il est enlevé par Decauville et conduit à une fendeuse. Cet appareil suffit pour fendre le bois nécessaire à la confection de 50.000 rations par jour. Un seul homme le conduit. Il est installé en face de son appareil, entre deux wagonnets : le premier, dans lequel il prend le bois à fendre; le second, dans lequel il jette le bois fendu. Il effectue le minimum de mouvements néces-

saires. Le bois fendu est ensuite porté sur un chantier spécial où il est placé en tas, disposés de manière à faciliter son séchage, ce qui diminuera beaucoup la consommation nécessaire pour chauffer le four. Il repartira, quand le moment sera venu de le consommer, toujours par Decauville, vers le fournil. Une bascule, placée sur la voie, permettra de constater la quantité de bois remise à chaque brigadier de four, lequel touche une prime à l'économie de bois. Avec une organisation de cette nature, dans le détail de laquelle je n'ai pas cru inutile d'entrer à titre d'exemple, on est arrivé à réduire de 80 à 30 le nombre d'hommes employés au service du bois et de 350 à 160 le nombre de kilos de bois nécessaires par 1.000 rations. Il est facile, par quelques multiplications, de se rendre compte de l'économie de deniers, de matières, de transport par voie de terre et de fer, de main-d'œuvre, effectuée depuis les forêts d'exploitation jusqu'aux fours des stations-magasins, pour l'alimentation en pain d'un effectif comme celui de nos armées du Nord-Est pendant la guerre.

Poursuivons l'examen de notre croquis. A côté des fournils, et reliées avec eux par des passages couverts, se trouvent les paneteries munies elles aussi de tapis roulants pour le chargement rapide des wagons : dans certaines stations-magasins le tapis roulant est complété par un compteur automatique.

Tous les divers magasins sont dotés également de Decauville, de monte-charges, de fourmis et de machines à engerber diverses. La torréfaction du café s'effectue automatiquement (1). La sacherie est munie de batteuses à sacs, de machines à laver, d'essoreuses, de séchoirs à air chaud, de machines à coudre mues électriquement.

J'ai déjà dit deux mots du service des vins avec ses cuves, sa robinetterie, ses pompes électriques. On s'est efforcé de pousser l'application de la méthode Taylor dans la tonnellerie. Des installations spéciales y permettent l'échaudage et le rinçage rapide de la futaille.

Voici le quai de débarquement du bétail. Tout l'approvisionnement en bétail d'une station-magasin n'est pas concentré entièrement dans son enceinte. Une bonne partie est installée dans les villages voisins, c'est cet ensemble qui forme ce qu'on appelle l'entrepôt de bétail de la station. Il n'en est pas moins nécessaire d'avoir une organisation de réception et un en-cas. En descendant du quai de débarquement, les animaux passent sur une bascule qui permet de les peser individuellement au passage. Ils traversent ensuite un pédiluve muni d'un bain désinfectant pour empêcher la propa-

(1) La torréfaction faisant perdre au café une partie de son eau de constitution, donc de son poids, on conçoit qu'il est possible au moyen d'un système de contre-poids d'arrêter la torréfaction automatiquement lorsque le grain a perdu la quantité d'eau jugée nécessaire.

gation de la fièvre aphteuse. Des étables permettent d'en loger un certain nombre sur place. Il y a aussi une bergerie et une porcherie, celle-ci placée à côté de la charcuterie, très perfectionnée, où le porc entre vivant et d'où il sort saucisse ou saucisson : il n'y manque que le fameux dispositif de marche arrière du Marseillais!... etc.

3. — L'entrepot d'effets.

Je n'indiquerai pas, dans le détail, comment est installé un entrepôt d'effets. Il comprend comme organes essentiels :

Un bureau de commande;

Des magasins où les effets sont classés par catégories et par pointures et répartis par « rayons » placés sous la direction de chefs de rayons (effets de drap, effets de toile, chaussures, etc.);

Un service d'expédition.

Le bureau des commandes reçoit les demandes des armées, établit pour chaque chef de rayon une fiche indiquant ce qu'il doit fournir et envoie un double de la commande au service des expéditions. Celui-ci est installé dans une ou plusieurs vastes salles divisées par des barrières en un certain nombre de box. Dès qu'une commande est annoncée au service des expéditions, un box spécial lui est réservé et est muni d'un écriteau bien apparent. Les ballots d'effets provenant des différents rayons y arrivent au fur et à mesure de leur confection. Des contrôleurs vérifient par coups de sonde leur exactitude comme quantités et comme pointures; des pointeurs notent leur arrivée et préviennent le chef de service dès que la commande est au complet : il n'y a plus qu'à effectuer le chargement en wagons.

Comme installation mécanique on ne trouve dans les entrepôts que les appareils de toute nature permettant les déplacements horizontaux et verticaux, monte-charge, tapis roulants, glissières, etc. L'établissement est, bien entendu, raccordé à la voie ferrée.

4. — Les résultats de l'industrialisation.

Quels ont été les résultats de notre méthode d'industrialisation? Elle constituait, il faut bien l'avouer, une trop grande nouveauté pour être immédiatement comprise et appliquée du haut en bas de la hiérarchie. Les résultats ont donc été variables avec les directeurs d'établissements ou leurs gestionnaires. C'était inévitable (1). Il faut donc et c'est cela seulement qui

(1) Il faut tenir compte aussi de ce que le service trouvait très difficilement les spécialistes nécessaires pour faire marcher les machines indispensables à un établissement industrialisé. Les spé-

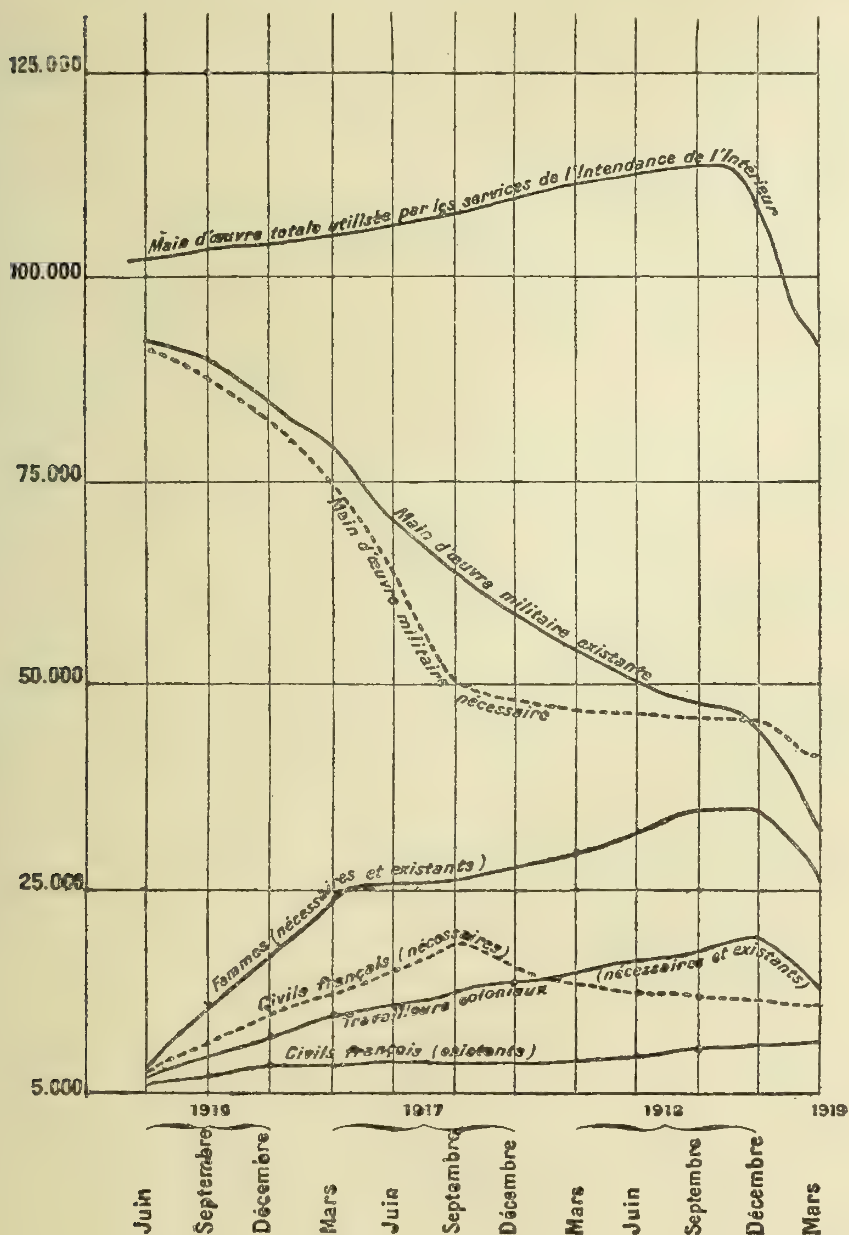


Fig. 6. — Main-d'œuvre utilisée par les Services de l'Intendance de l'intérieur pendant la guerre 1914-1918.

peut être intéressant, considérer l'ensemble. Les courbes de la figure 6 permettent de le faire. Elles indiquent d'une part (courbes en pointillé) les néces-

cialistes étaient absorbés par les établissements du Ministère de l'Armement et des Fabrications de Guerre.

saires totaux de tous les Services de l'Intendance de l'intérieur. Ces nécessaires sont indiqués par catégories de main-d'œuvre, main-d'œuvre militaire et main-d'œuvre de remplacement de toute nature. Ce sont les totaux de tous les « plans de remplacement ». Les courbes en traits pleins indiquent les existants. On voit que ceux-ci se sont rapprochés progressivement des nécessaires et que, notamment pour la main-d'œuvre militaire, le but fixé par le commandement était sensiblement atteint au moment de l'armistice.

Si l'on considère les effectifs globaux des existants, on constate que nos services de l'intérieur ayant commencé la campagne avec 90.000 commis et ouvriers l'ont terminée avec 110.000 unités de valeur très inférieure. Et pourtant, il est permis de dire que la tâche avait plus que doublé, non seulement au point de vue du ravitaillement des armées, mais aussi au point de vue administratif. Dans les existants sont compris en effet tous les commis, et la moindre sous-intendance en comptait une quarantaine, hommes ou femmes, en raison des multiples affaires qui y convergeaient : pensions, réquisitions, allocations aux familles des mobilisés, vérification des comptabilités des corps de troupe, etc.

Ainsi, l'industrialisation est une méthode qui a prouvé son efficacité par ses résultats et qui doit rester une méthode du temps de paix et du temps de guerre. Elle n'a que l'inconvénient de demander une mise de fonds préalable pour des achats de machines, rapidement amortie d'ailleurs; espérons qu'une économie mal conçue ne viendra jamais s'y opposer. Elle nécessite aussi l'emploi d'un certain nombre d'ouvriers spécialistes. Mais tout cela est bien peu important quand il s'agit d'épargner une chose aussi précieuse que les effectifs.

MESSIEURS,

J'arrive au terme de l'exposé, que vous aviez bien voulu me demander, sur la manière dont le Service de l'Intendance s'est efforcé d'accomplir sa tâche de guerre. Je n'ai pas à juger les résultats obtenus. Nous avons fait de notre mieux. Il appartient à la nation tout entière, à ses organes particulièrement éclairés, en particulier à votre société, Messieurs, de prononcer le verdict.

Mais j'estime qu'avant de finir, j'ai un devoir à remplir : c'est de rendre un juste hommage aux *producteurs français* sans le concours desquels notre tâche eût été impossible à mener à bien. Il faut dire bien haut que ces *producteurs* se sont, dans la lutte économique, par leur ardeur, par leur vitalité, par leur esprit de décision, par leurs facultés d'organisation et de réalisation, montrés dignes des combattants qui sauvaient le pays sur le champ de bataille.

La lutte armée est finie, la lutte économique continue, singulièrement

âpre. Mais l'exemple du passé nous est un sûr garant de l'avenir. Agriculteurs, commerçants, industriels français sauront exploiter le champ merveilleux qui s'ouvre à leur action, dans notre France avec ses deux provinces retrouvées, dans notre bel empire colonial libéré de toute hypothèque germanique. Culture agricole intensive, industrie métallurgique formidablement accrue, mise en œuvre de notre houille blanche, équipement de notre beau bloc africain de la Méditerranée au golfe de Guinée... tels sont, et j'en oublie, les éléments de la moisson superbe que saura faire lever le producteur français!

Les résultats de cet effort fécond apporteront au pays non seulement une augmentation incomparable de son patrimoine de civilisation et de richesse, mais aussi un accroissement considérable de *puissance,* car le conflit qui vient de se terminer a montré d'une manière particulièrement saisissante l'importance des questions économiques en cas de guerre.

En prononçant ici ce mot de *puissance* j'ai la certitude que mes paroles ne peuvent donner lieu à aucune équivoque. Ce n'est pas une arrière-pensée de militarisme ou d'impérialisme qui me les a dictées. La France — et son armée qui n'est que l'exécutrice fidèle de ses volontés, — la France ne désire pas la force et la puissance dans un but d'agression et de conquête, mais seulement parce qu'elle veut vivre, dans la sécurité et dans la paix, sa belle et libre destinée.

Sous-Intendant LAPORTE,
Chargé du cours d'Intendance en Campagne
à l'École supérieure de Guerre
et au Stage de l'Intendance militaire,
Conférencier au Centre des Hautes Études militaires.

CONCOURS ORGANISÉ PAR LA VILLE DE PARIS EN VUE DE L'UTILISATION RATIONNELLE DES COMBUSTIBLES

(1re PARTIE, JUILLET-SEPTEMBRE 1920)

PREMIÈRE EXPOSITION DU CHAUFFAGE PREMIÈRE SÉRIE DU DIT CONCOURS

(Paris, Grand Palais, 30 octobre-15 novembre 1920.)

La question des économies de combustibles préoccupe très vivement, depuis ces dernières années, tous ceux qui ont à charge de veiller au bien-être général et d'assurer un prompt relèvement du pays.

M. Autrand, Préfet de la Seine, s'y est particulièrement attaché. Après d'heureuses initiatives dans son administration même, il a constitué, au printemps de 1920, une commission chargée de rechercher les économies à réaliser dans l'emploi des combustibles. C'est comme suite aux avis exprimés par cette commission qu'a été distribué, à plus d'un million d'exemplaires, un petit tract — actuellement connu de tous les Parisiens — destiné à répandre dans le public les notions simples d'économie domestique relatives aux moyens de chauffage et d'éclairage. En outre, un concours, doté de 100.000 francs de prix, a été institué en juillet dernier, par la Ville de Paris, en vue de l'utilisation rationnelle des combustibles et des diverses autres sources d'énergie.

Le programme de ce concours prévoyait sa division en deux séries, la première plus spécialement relative aux appareils de chauffage domestique pouvant être utilisés dès l'hiver 1920-1921, la seconde comprenant surtout les propositions qui nécessitent d'assez longues études ainsi que celles qui ont trait aux améliorations des procédés de chauffage industriel ou aux moyens d'utilisation des diverses sources d'énergie.

A titre de première récompense et avant toute attribution des primes prévues, cette attribution ne devant avoir lieu qu'en fin de concours, conformément à une décision préalable du jury (1), un certain nombre de concurrents de la première

(1) Ce jury a été composé comme suit par M. le Préfet de la Seine, en date du 6 septembre 1920 :

Le Préfet de la Seine, *président.*

Le Secrétaire général *de la Préfecture de la Seine.*

M. Le Corbellier, *président du Conseil municipal.*

MM. Froment-Meurice, Lalou, Cherioux, Deville, Rousselle, Peuch, Dausset, Desvaux, Fiancette et Massard, *conseillers municipaux.*

MM. Latour, Lemarchand, Rendu et Sellier, *conseillers généraux*;

M. Ader, *Directeur du Service des Charbons au Ministère des Travaux publics;* M. Charpy,

série ont été admis à présenter au public leurs appareils, produits combustibles, ou systèmes de chauffage divers dans une exposition publique, qui s'est tenue au Grand Palais des Champs-Elysées, du 30 octobre au 15 novembre 1920. On trouvera plus loin la liste des exposants à l'Annexe I.

Tout naturellement les appareils de chauffage domestique dominaient à cette exposition, où le fonctionnement d'un assez grand nombre d'entre eux constitua, pour le public, une véritable leçon de choses. Il a pu, en effet, se rendre compte *de visu* de la possibilité d'utiliser, pour se chauffer, le bois, la sciure de bois, le coke, les briquettes de lignite, les boulets, et surtout le gaz d'éclairage, dans des conditions au moins aussi économiques que lorsqu'il emploie le charbon de terre ou l'anthracite.

La Société du Gaz de Paris, exposant hors concours en tant que régisseur intéressé de la Ville de Paris, avait d'ailleurs présenté des types d'appareils à gaz très variés, depuis celui qui sert au chauffage des fours de boulangerie jusqu'au petit réchaud de cuisine. Elle avait aussi organisé des causeries journalières, qui ont été très appréciées, sur la cuisine au gaz.

Du côté industriel, le nombre d'appareils était assez restreint, du fait que leur présentation au public est surtout prévue à la suite de la deuxième série du Concours. Toutefois, les constructeurs de ces appareils se sont en général déclarés satisfaits de l'attention prêtée à leurs stands par de nombreux industriels, tant étrangers que français, qui se sont rendus à l'Exposition.

membre de l'Institut, membre correspondant de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale; M. Colmet Daage, *Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Inspecteur général des Services techniques des Eaux et de l'Assainissement de la Ville de Paris;* M. Copaux, *Président du Comité de Chimie à la Direction des Recherches scientifiques et industrielles et des Inventions*; M. Couronne, *Ingénieur des Arts et Manufactures, ancien adjoint au chef de la Section des Machines, au Service municipal des Eaux et de l'Assainissement;* M. Damour, *Ingénieur civil des Mines, chef du Service des Économies de Combustibles, aux Forges et Aciéries de la Marine et d'Homécourt;* M. Decluy, *ingénieur civil, chef du Service technique au Comité central des Cokes de France;* M. Franceschini, *Sous-directeur administratif des Travaux de Paris;* M. Gaillet, *ingénieur, chef de la Section des Machines au Service municipal des Eaux et de l'Assainissement;* M. Gaudin, *Ingénieur de l'Assistance publique;* M. Girard, *ingénieur, chef du Service des Installations mécaniques à la Préfecture de la Seine;* M. Giraud, *ingénieur en chef, chef de la Section technique du Cabinet du Préfet de la Seine;* M. Grouvelle, *ingénieur civil, professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures;* M. Gruner, *président de la Société des Ingénieurs civils, ancien président de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale;* M. Jayot, *Directeur général de l'Inspection générale et des Transports en commun;* M. Kling, *Directeur du Laboratoire municipal de chimie;* M. Lancrenon, *Ingénieur des Mines, Ingénieur des Carrières de la Seine;* M. Laurain, *Ingénieur-conseil de la Société du gaz de Paris;* M. Lauriol, *Ingénieur en chef adjoint pour l'éclairage à l'Inspecteur général des Services de la Voie publique, du Métropolitain et du Port de Paris;* M. Legros, *Architecte-voyer en Chef de la Ville de Paris;* M. Malher, *Ingénieur civil des Mines;* M. Malherbe, *Directeur général des Travaux de Paris;* M. Maréchal, *Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées, Ingénieur à la Compagnie du Metropolitain et à la Compagnie des petites Voitures;* M. Martzloff, *Directeur du Matériel à la Préfecture de la Seine;* M. Maurain, *Directeur adjoint des Recherches scientifiques et industrielles et des Inventions;* M. Métayer, *professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures;* M. Pecheur, *Ingénieur en Chef des usines de la Compagnie parisienne de Distribution d'Électricité;* M. Richemond, *président du Groupe Paris et des Industries métallurgiques, membre du Conseil de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale;* Dr Thierry, *Inspecteur général des Services d'Hygiène à la Préfecture de la Seine;* M. Walckenaer, *Inspecteur général des Mines, président de la Commission des Economies de Combustibles au Ministère des Travaux publics, membre du Conseil de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale.*

Les secrétaires, sans voie délibérative sont :

MM. Florentin, *Chimiste principal au Laboratoire municipal de Chimie;* M. Gardelle, *sous-chef de bureau à la Direction du Matériel,* et M. Guibert, *contrôleur des Services techniques et industriels de la Préfecture de la Seine.*

L'intérêt de celle-ci a été enfin rehaussé par la participation de l'OFFICE DE CHAUFFE RATIONNELLE et par celle du Groupement des ASSOCIATIONS DE PROPRIÉTAIRES D'APPAREILS A VAPEUR; leurs deux directeurs, dans des conférences très applaudies dont nous donnons un résumé plus loin aux Annexes II et III, ont tenu à appeler l'attention des auditeurs sur la nécessité d'économiser le combustible, particulièrement dans les usines et, pour y parvenir, d'exercer un contrôle efficace sur la conduite de la chauffe.

Il est utile de rappeler que cette Exposition ne constituait que la première et plus petite étape vers le but visé par la Ville de Paris.

De nombreuses propositions intéressantes, qui n'ont pu, en raison de leur caractère spécial ou de la complexité des questions qu'elles traitent, faire l'objet d'une présentation au public, restent en effet soumises à l'examen du jury. Beaucoup d'entre elles figureront à la deuxième Exposition, en compagnie de certains des appareils déjà présentés, que leurs auteurs auront sans doute désiré améliorer en tenant compte de l'expérience, et aussi de ceux que révélera l'examen des propositions qui ont été déposées jusqu'au 31 décembre 1920.

⁂

ANNEXE I. — LISTE DES EXPOSANTS

(1re série, Paris, Grand Palais, 30 octobre-15 novembre 1920.)

AGGLOMÉRÉS COMBUSTIBLES VÉGÉTAUX. A. C. V., villa Beauséjour, Cormeilles-en-Parisis, (Seine-et-Oise). *Briquette à base de sciure de bois.*

ALPHANDERY ET DAVID, 4, avenue du Coq (9e). *Grilles pour foyer de chaudières.*

ARRATEIG DE BAIX, 15, rue Chomel (7e). *Brûleurs pour chaudière.*

ASSOCIATION LYONNAISE DES PROPRIÉTAIRES D'APPAREILS A VAPEUR, 45, rue de la Charité, Lyon. *Note sur le gaspillage des combustibles (brochure L. Berger).*

ASTRIC MICHEL, 63, rue de l'Union, Clamart. *Note sur un système de chauffage à grand rendement.*

AULANIER FRÈRES, 15, 20 et 22, rue des Prairies (20e). *3 fours à gaz.*

— — *Lampe à essence « midinette ».*

— — *3 poêles à sciure de bois.*

— — *2 réchauds à pétrole.*

BERGER E., 9, rue de la Villette (20e). *Enregistreur de dépression.*

BRAILLARD, 122, avenue de la République, Fontenay-sous-Bois. *1 poêle à bois.*

BRUNET, 26, rue de Boulainvilliers (16e). *4 appareils à gaz.*

— — *Appareils au charbon de bois.*

CHRISMANT, 7, rue Gambetta, Fontenay-aux-Roses. *Cheminée à bois, ou à bois et charbon.*

CHABOCHE, 33, rue Rodier (9e). *Salamandre complète avec grille pour charbon de bois.*

— — *Salamandre avec grille à bois.*

CHEVREAU ET RÉGNIER, 3, rue Raspail, Courbevoie. *Briquettes de tourbe.*

CANTAIS ET Cie, 24, rue de Flandre (19e). *Chaudières (2 appareils).*

COMPTOIR COMMERCIAL FRANÇAIS, 3, rue Scribe (9e). *Note sur le chauffage industriel.*

CRECEVEUR, 72, boulevard Voltaire. *Note sur un foyer de chaudière pour tous combustibles.*

COSTE, 19, rue de la République, à Mâcon. *Briquettes (3 échantillons).*

CORNU, 1, carrefour de la Croix-Rouge. *Cornets à air chaud avec réchaud.*

CHAPELLE SOCIÉTÉ EENBERG, Venissieux (Rhône). *Passe-cendres sans poussière.*

DELION, villa Marie-Louise, Le Douet en Saint-Sébastien (Loire-Inférieure). *Note sur un économiseur industriel de combustible.*

DELISLE, 1, boulevard Henri-IV. *1 économiseur.*

DECOTE, 6, rue Chambertin. *Brûle-poussier (2 appareils).*

DUPUY HENRI, 27, rue du Banquier. *Boulets perforés.*

DEBESCON, 2 *bis*, avenue des Gobelins. *Appareil à huile lourde pour chauffage central.*

DARTHENAY, rue Gambetta, Les Mureaux (Seine-et-Oise). *Agglomérés à sciure de bois.*

DROULIN, 30 *bis*, rue Lantiez. *1 poêle à bois.*

ÉTABLISSEMENT CAUVET ET LAMBERT, 20, rue de la Conception, Marseille. *Note sur un brûleur à huile lourde.*

ÉTABLISSEMENT CHOUBERSKY, 20, rue Félicien-David. *Cheminée Chouberski avec accessoires.*

ÉTABLISSEMENT RECKY, 7, boulevard de la Madeleine. *Poêle à sciure de bois.*

ESNOL CHEZ M. CASTEL, 1, rue de Paris, Clichy-la-Garenne. *Fourneau-cuisinière économique et accessoires.*

FONTAINE ÉMILE, 12, rue de Bellefond. *Poêle.*

GUILLAIN, 20, rue de la Liberté, Plant-Champigny. *Récupérateur de chaleur pour lampe à pétrole.*

GESLIN, RAFFINERIES FENAILLE ET DESPEAUX, à Bègles (Gironde). *Appareils se fixant sur une lampe.*

GRIFFON, 33 *ter*, route d'Aix, Limoges. *Poêle à bois, tourbe, sciure.*

GUASCO, 172, faubourg Saint-Denis. *Note sur un moule à briquettes.*

— — *Toximètre.*

GAVET, 238, rue de la Convention. *1 norvégienne.*

GUILLERY ERNEST, 133, rue Lamarck (18e). *1 poêle à bois.*

GALVET G., 30 *bis*, boulevard Jourdan (14e). *Récupérateur de chaleur pour cheminée.*

GALLI, 14, rue Baudin (9e). *Régulateur de tirage pour cheminée.*

— — *1 four.*

— — *1 grille dite scarbivore.*

— — *2 fourneaux.*

GROLL, 50, rue Carnot, Roanne. *Appareils de réglage de tirage des chaudières.*

GENEVET, 32, boulevard Malesherbes (8e). *Tirage mécanique Genevet.*

HARMAND, 50, rue des Siams, Le Perreux (Seine). *Poêle-cuisinière (brûle tout)*

HUNI, 113, rue Réaumur (2e). *Note sur un économiseur pour chauffage central.*

HUENEFELD (MASSIGNON, représentant, 5, rue de la Fraternité, Saint-Mandé), Cincinnati (Ohio, États-Unis). *2 fours.*

IMBERT PAUL « LE MANCHON MÉTAL », 52, rue de Clichy. *Brûleur dit « Manchon Métal », 3 appareils et 1 T.*

JARRE, 17, rue Tronchet. *Presse ménagère à briquettes.*

JOUCLARD, 2, rue du Gouvernement, Versailles. 2 *fourneaux à sciure de bois.*

KIRFEL, 196, rue Michel-Bizot (12e). *Réchaud-radiateur, poêle à gaz. 4 appareils.*

KAPLAN MICHEL, 15, voies des Charbonniers, Montrouge (Seine). *Combustibles agglomérés, 6 échantillons.*

DE KOTARSKI, 13, boulevard Gambetta, Grenoble. *Poêle à sciure de bois.*

LE NAOUR, 12, rue Claude-Vellefaux. *Four pour forge.*

LEGENDRE, 27, rue d'Alésia (14e). *Notice du Ministère de l'Armement.*

LAPICQUE, 21, boulevard Henri-IV. *1 chauffeur économique.*

LANGIONE AMERICO, 168, faubourg Saint-Honoré. *Économiseur de gaz.*

LEMULLOIS, 143, avenue de Neuilly, Neuilly. *2 lampes avec support et 1 four à chauffer les fers.*

LAURENT, 3, passage Ménilmontant (11e). *Poêle à sciure de bois.*
— — *Repos de chaleur 1 spirale.*
— — *Poêle au bois.*
— — *Repos de chaleur.*

MASSIGNON, 5, rue de la Fraternité, Saint-Mandé. *3 récupérateurs de chaleur.*

MOYSE, île Saint-Gervais, 25, allée des Ponts, à Issy-les-Moulineaux. *3 presses à briquettes.*

MIGNOT, 8, rue des Clercs, Metz. *Réchaud à gaz.*

MAUPIED, 50, avenue de Châtillon (14e). *Échantillons de charbons artificiels.*

MARTIN, 5, rue de Paris, Clichy. *Moules et briquettes de poussière de charbon.*

MEMVIELLE, 30, chaussée de l'Étang, Saint-Mandé. *1 appareil à pétrole.*

MORAINE, 62, avenue du Chemin-de-fer, Vitry. *Radiateur à sciure de bois. 2 appareils.*

MARCHAL, La Maladière, Valence-sur-Rhône (Drôme). *Agglomérés à base de sciure de bois.*

MAHIEU, 43, rue d'Hautepoul (19e). *Radiateur à gaz.*

NOTTIN, 139, boulevard de Grenelle. *Utilisation de la sciure comme combustible.*

NICOLAY, 81, rue Madame (6e). *Réchaud éclairant au pétrole.*

NILSSTJERNSTRÖM, 54, rue de Flandre (19e). *Brûleur.*

ORÉ ERNEST, 11, rue de la Masse, Caen. *3 presses domestiques à agglomérer le poussier.*

OHLSEN JORGEN, Anker Hecgaardsgade 2, Copenhague, Danemark. *Appareil électrique de mesure de chaleur.*

POULAIN, 13, impasse Marteau, Plaine Saint-Denis. *Appareil à chauffage domestique.*

PRIVAT, 103, rue des Voies-des-Bois, Colombes. *Poêle à bois.*

PERARD, 28, rue Champlouis, Corbeil. *Passe-escarbilles.*

PELLETIER, 10, rue du Cambodge (20e). *Fourneau de cuisine à gaz.*

RONDET, 57 *bis*, rue Martre, Clichy. *Poêle à bois.*

RICHARD, 18, rue Antoinette. *Poêle à tourbe.*

RENAUX ET LEJON, 99, rue de Billancourt, Boulogne. *2 poêles et 1 récupérateur de chaleur.*

SOCIÉTÉ ANONYME POUR LA RÉCUPÉRATION RATIONNELLE DU COMBUSTIBLE DANS LES SCORIES, Le Raincy, Seine-et-Oise. *Cribleur de scories.*

SOCIÉTÉ ANONYME LA « COMBUSTION RATIONNELLE », 48, rue La-Boétie. *Aéro-pulvérisateur.*

SOCIÉTÉ « TOLERIE INDUSTRIELLE PARIS », 65, rue du Chemin-Vert (11e). *Fourneau à gaz à récupération.*

SOCIÉTÉ ANONYME DES ANCIENS ETABLISSEMENTS HOTSCHKISS, 6, route de Gonesse, Saint-Denis. *Note sur le tirage équilibré « Hotschkiss ».*

SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE THERMIQUE ET SANITAIRE, PIERRE, LOUIS HENRI VERA ET Cie, 54, avenue du Maine (14e). *Radiateur au bois.*

SOCIÉTÉ D'APPLICATION INDUSTRIELLE MODERNE, 79, rue de Paradis, Marseille. *Brûleur pour combustible liquide.*

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE TRACTION ET DE CHAUFFAGE PAR LE PÉTROLE, LEVASSEUR délégué, 21, place Félix-Faure (15e). *Appareils de chauffage au pétrole.*

SOCIÉTÉ DES CONDENSEURS DELAS, 103, rue Saint-Lazare (9e). *Régulateur automatique d'alimentation.*

SOCIÉTÉ DIENYET LUCAS, 50, rue Taitbout. *Note sur le moteur gazogène Crossley.*

SOCIÉTÉ LA « BUCHE DE NOËL », 63, boulevard de Charonne (11e). *2 poêles à charbon de bois.*

SCHERDING, 16, rue Saint-Marc (2e). *Note sur le chauffage industriel au mazout.*

DOS SANTOS, villa Apolline, Amélie-les-Bains (Pyrénées-Orientales). *Poêle à sciure de bois.*

SERIEYE, 61, rue de la République, à Marseille. *Note sur l'économie du charbon dans les chaudières.*

SINGEOT, 5, rue Traversière (12e). *Note sur un foyer spécial pour combustibles secondaires.*

THIBAUT, 51, boulevard Victor-Hugo, Lille. *Grille pour chaudières.*

TRONCT, 52, cour Saint-Médard, Bordeaux. *Cuisinière, 3 poêles à sciure de bois.*

TAUPINOT, 76, rue Émile-Raspail, Arcueil. *Radiateurs chauffés au gaz, pétrole ou essence.*

TISSIER, à Batna (Algérie). *Note sur la carbonisation du bois pour gaz d'échappement.*

TRANCHANT, 64, rue de Fécamp et passage du Lavoir (12e). *Note sur le four industriel « Tranchant ».*

WALTER MARTIN, 74, rue de Maubeuge. *4 chaufferettes.*

YERNAUX, 11, rue Lemaître, Puteaux. *Cribleur de charbon.*

ZUTTER, 2, rue Charles-Baudelaire (12e). *1 économiseur domestique.*

* * *

ANNEXE II. — RECHERCHE DES ÉCONOMIES DE COMBUSTIBLES DANS LA PRODUCTION DE LA FORCE MOTRICE INDUSTRIELLE

Compte rendu d'une conférence, faite le 13 novembre 1920, par M. COMPÈRE, Ingénieur-Directeur de l'Association parisienne des Propriétaires d'Appareils à Vapeur.

Dès sa fondation, l'Association alsacienne des Propriétaires d'Appareils à Vapeur, la première du genre en France, créée à Mulhouse, en 1867, s'occupait plus de l'économie de combustibles que de la sécurité, question qui était, d'ailleurs, moins connue. Depuis, les autres associations similaires créées en France, ont toujours visé ce double but.

Les conseils à donner pour réaliser des économies de combustibles varient suivant qu'il s'agit de la petite, de la moyenne ou de la grande industrie.

Dans les grands secteurs, par exemple, l'installation idéale économique peut être réalisée. La petite et la moyenne industrie doivent connaître cet idéal, mais elles ne peuvent pas toujours l'atteindre. Les associations des propriétaires d'appareils à vapeur, peuvent toujours leur donner des conseils. Ces conseils se classent de la façon suivante :

Meilleure utilisation des installations, sans y faire aucun changement matériel;

Améliorations avec des modifications très peu coûteuses et à la portée, même de la petite industrie;

Améliorations par l'addition d'appareils nouveaux.

Production de la vapeur. — M. Compère rappelle les principes directeurs qui sont condensés dans un tract, adressé actuellement à tous les adhérents de l'Association parisienne :

1° Avoir un bon chauffeur, lui montrer l'importance de sa tâche. Si le chauffeur est insuffisant, lui donner des leçons pratiques de chauffe;

2° Exiger que les chaudières fonctionnent avec le minimum d'ouverture du registre, pour éviter un trop grand excès d'air de combustion ;

3° Surveiller les déchets retirés du cendrier et ne pas laisser d'imbrûlés dans les cendres et mâchefers;

4° Empêcher toutes les rentrées d'air sur les parcours des gaz de la combustion;

5° Ne pas laisser échapper les gaz à plus de 200°;

6° Maintenir la chaudière en état de grande propreté, à l'extérieur et à l'intérieur.

Toutes les améliorations résultant de l'application de ces principes peuvent être contrôlées par des appareils divers :

Appareil « Orsat » pour l'analyse des gaz;

Déprimomètres, pour mesurer le tirage;

Pyromètres, pour mesurer la température des gaz.

Comme transformation peu coûteuse, M. Compère signale les modifications aux foyers qui permettent d'avoir une grille suffisamment couverte. Comme appareils à ajouter, il cite : les grilles mécaniques ou, à leur défaut, les régulateurs de tirage; les foyers soufflés; les économiseurs pour le réchauffage de l'eau d'alimentation; les réchauffeurs d'air destiné à la combustion.

Utilisation de la vapeur. — Il convient de : bien calorifuger les conduites de vapeur; supprimer toutes les fuites; mesurer la consommation de vapeur des machines par cheval en faisant des essais avec relevés de diagrammes.

Dans la petite industrie, avec des machines anciennes, sans condensation, l'économie à réaliser par le remplacement de la machine, est beaucoup plus grande que les améliorations possibles de la chaudière productrice de vapeur; c'est alors qu'il est indiqué d'emprunter la force nécessaire à un secteur électrique.

Il faut aussi surveiller le fonctionnement des enveloppes pour s'assurer que les purges sont bien faites et efficaces. Ajouter de la surchauffe quand cela est possible.

Si une industrie exige le chauffage par la vapeur à basse pression, il est plus économique de marcher sans condensation si on peut utiliser complètement la vapeur d'échappement. Pour ces chauffages, on peut aussi faire la prise de vapeur au réservoir intermédiaire des machines compound, ou entre les étages à haute et à basse pression, dans les turbines.

Dans les forges qui comportent des pilons, il faut recueillir les vapeurs d'échappement dans un accumulateur, actionnant une turbine à vide.

La consommation de vapeur est parfois tout à fait exagérée dans les petites machines annexes, qu'on est trop facilement tenté d'adopter. Pour ces petites machines, la commande électrique est beaucoup plus économique.

En résumé, la diminution de dépense du charbon, doit être recherchée, d'abord dans la production de la force motrice; ensuite, seulement, dans une meilleure installation des générateurs; enfin dans une meilleure instruction professionnelle des chauffeurs.

Annexe III. — MOYEN D'OBTENIR LE RENDEMENT MAXIMUM DES APPAREILS DE CHAUFFAGE

Compte rendu d'une conférence faite par M. Paul Frion,

Ingénieur-Directeur de l'Office central de Chauffe rationnelle.

De très grandes économies de combustible peuvent être réalisées très facilement par l'organisation d'un contrôle méthodique, scientifique des appareils de chauffage.

Les règles générales empiriques, appliquées jusqu'à présent pour améliorer la conduite des appareils de chauffage, sont excellentes mais insuffisantes. Elles permettent bien d'obtenir un rendement meilleur des appareils, mais, sans un contrôle basé sur des mesures, on ne pourra jamais être sûr d'atteindre le rendement maximum. C'est ainsi qu'en fermant trop complètement le registre dans une chaudière pour diminuer les entrées d'air, on risque d'obtenir une combustion incomplète; et qu'au contraire, en voulant éviter la présence d'imbrûlés dans les escarbilles, on peut être conduit à admettre un excès d'air. Des observations tout à fait convaincantes ont été faites à cet égard par les ingénieurs de l' « Office » au cours de leurs interventions dans les usines.

Il est possible de réaliser pratiquement un contrôle efficace de l'installation. Deux stades sont à distinguer. Il faut d'abord faire une étude complète de l'installation dans

son état actuel, une sorte d'expertise au point de vue thermique, comportant la mesure précise des calories apportées et des calories perdues. Il faut en somme faire le *bilan thermique* de l'appareil.

Ce bilan, est aussi indispensable à l'ingénieur qui veut améliorer la marche d'un appareil thermique que la connaissance de la balance des recettes et des dépenses pour le commerçant.

L'examen du bilan permet de déterminer la marche correspondant au rendement maximum de l'installation; il permet en outre, par la comparaison avec d'autres bilans précédemment établis, de préciser ce que l'on peut attendre de telle ou telle modification et, par suite, de calculer d'avance la durée d'amortissement d'une transformation. Le prix élevé des charbons justifie l'établissement de ce bilan.

Les appareils nécessaires à cet établissement sont très nombreux. Un appareil d'Orsat et un pyromètre, parfois un indicateur de débit, composent la trousse de l'ingénieur. Les mesures qu'on effectue avec ces appareils ne sont ni longues ni difficiles; elles exigent cependant un spécialiste.

L'étude préliminaire de l'installation étant terminée, il faut ensuite la contrôler continûment en mesurant tous les éléments importants, de préférence à l'aide d'appareils enregistreurs. Pour les chaudières, le déprimomètre enregistreur, les pyromètres enregistreurs ou non, les analyseurs de gaz carbonique, continus ou intermittents, sont des auxiliaires indispensables; des compteurs divers pour le charbon, pour la vapeur, pour l'eau sont très utiles.

Dans le contrôle des gazogènes, l'appareil d'Orsat, avec un eudiomètre et un pyromètre sont suffisants. Les analyseurs de gaz carbonique permettent de suivre le fonctionnement des fours et des récupérateurs.

Des exemples sont donnés; c'est ainsi qu'une petite installation ne consommant que 2 t de charbon par jour a pu économiser *12.000 f* par an.

Réfutant deux objections fréquentes concernant la mauvaise volonté du personnel chauffeur et la mauvaise qualité du charbon, l'auteur montre comment, dans ces cas, le contrôle est peut-être encore plus utile.

Tout industriel soucieux de ses intérêts peut donc et doit organiser, dans ses usines, le contrôle continu des appareils de chauffage. Il sert en même temps les intérêts supérieurs du pays pour lequel la réalisation des économies de combustibles est d'une impérieuse nécessité.

L' « Office central de Chauffe rationnelle », 5, Rue Michel-Ange, Paris, qui se charge de ce contrôle, a été fondé par le Ministre de la Reconstitution industrielle en vue de l'installer dans les usines de guerre afin d'y obtenir le maximum d'économies de combustibles.

Cet office dispose : de cours supérieurs où les ingénieurs des grandes usines et les élèves des grandes écoles viennent se spécialiser dans la pratique de l'établissement et de la discussion des bilans thermiques; de cours pratiques pour contremaîtres, qui enseignent la conduite économique des appareils de chauffage.

L' « Office » offre son concours, sous les formes les plus variées, en mettant à la disposition des industries, soit ses ingénieurs spécialistes pour l'examen thermique des installations et pour l'établissement du contrôle, soit ses laboratoires pour l'analyse des combustibles et la fourniture après vérification des appareils de contrôle, soit enfin l'expérience de son bureau d'études, pour les transformations et installations nouvelles.

TRAVAUX DE LA COMMISSION D'UTILISATION DES COMBUSTIBLES(1).

Ministère des Travaux Publics.

PREMIER RAPPORT

Une Commission, instituée sur la proposition de M. le ministre des Travaux publics par décret du 14 mars 1920 (2), a été chargée d'étudier les moyens propres à assurer une meilleure utilisation du combustible et de proposer toutes mesures nécessaires à cet effet.

Cette Commission, réunie pour la première fois le 30 mars, sous la présidence de M. le sous-secrétaire d'État des Mines et des Forces hydrauliques, a partagé son travail d'étude entre trois sous-commissions, dont la première a en vue la réduction de la consommation de charbon des machines à vapeur, notamment sur les chemins de fer, dans les centrales électriques et dans la moyenne industrie ; la deuxième étudie l'économie du combustible en métallurgie et dans les autres grandes industries employant des fours telles que la céramique et la verrerie; enfin, la troisième est saisie de l'examen des inventions et des procédés spéciaux, en particulier des méthodes de carbonisation et gazéification des houilles ou des tourbes et de l'emploi du charbon pulvérisé. Ces divers programmes, énonciatifs plutôt que limitatifs, ont inévitablement quelques parties communes, mais les sous-commissions sont animées d'un esprit de collaboration qui dispense d'élever entre elles des cloisons. Elles travaillent et se réunissent dans l'intervalle des séances plénières de la Commission où, après discussion, sont arrêtées les propositions à transmettre à l'administration supérieure.

Des séances plénières ont été tenues, jusqu'à présent aux dates des 30 mars, 27 avril, 20 et 27 mai, 24 juin, 22 juillet, 22 septembre et 21 octobre.

Parmi les avis et les vœux que la Commission s'est ainsi trouvée conduite à émettre, il en est qui soulèvent exclusivement des questions d'ordre gouvernemental ou admistratif. C'est ainsi que la Commission a été appelée à collaborer à la rédaction de l'article 9 du projet de loi sur la péréquation des prix du charbon et la réglementation des importations (séances des 20 et 27 mai). C'est ainsi également qu'elle a, dès sa deuxième séance plénière (27 avril), formulé un vœu sur la répartition des charbons, puis étudié en détail, dans les séance suivantes, les moyens de régler cette répartition de la manière la plus profitable à l'utilisation économique des combustibles. A la même catégorie de propositions appartiennent aussi les vœux relatifs à la teneur en cendres des charbons livrés par l'Allemagne, spécialement pour ce qui touche les fines à coke métallurgique (22 septembre) et les charbons pour chemin de fer (21 octobre).

Sur ces divers sujets, les propositions de la Commission ont été transmises à l'admi-

(1) *Journal officiel* du 22 novembre 1920.

(2) *Journal officiel* du 17 mars 1920, p. 4399. — La composition de la Commission, fixée tant par ce décret que par un décret modificatif du 15 avril (*Journal officiel* du 17 avril, p. 6084), est la suivante : 4 sénateurs, 6 députés, 4 professeurs ou techniciens spécialistes des questions relatives à l'utilisation des combustibles, 9 représentants des administrations publiques, 11 représentants des industriels consommateurs de charbon ou des associations de propriétaires d'appareils à vapeur.

nistration et ont retenu l'attention de la Direction générale du Service des Charbons. Ce n'est pas ici le lieu de les commenter davantage.

Mais, parmi les progrès auxquels la Commission est désireuse de contribuer, il en est d'autres, et ce ne sont pas les moindres, qui échappent en tout ou en partie à l'action des mesures gouvernementales ou des règlements administratifs, et qu'il faut surtout attendre du perfectionnement des méthodes et des appareils.

Il existe d'ores et déjà dans l'industrie des tendances favorables à un emploi plus rationnel qu'autrefois et plus économique des combustibles : augmentation de la puissance individuelle des appareils; concentration de la production de la force motrice dans de grandes centrales électriques; association de plusieurs centrales sur un même réseau de distribution d'énergie; dans le domaine de la machine à vapeur, élévation du timbre, générateurs à vaste surface de chauffe, foyers automatiques, tirage rationnellement organisé et surveillé, abaissement de la température à la cheminée par réchauffage de l'eau ou de l'air, forte surchauffe de la vapeur, turbines d'énorme puissance, condensateurs à vide presque parfaits; récupération, toutes les fois qu'il y a lieu, et utilisation des vapeurs d'échappement; d'autre part, emploi de la machine à gaz dans les cas où elle peut être pratiquement substituée à la machine à vapeur, notamment pour l'utilisation des gaz des hauts fourneaux et de l'excédent de gaz des fours à coke, etc. Sans vouloir faire une énumération complète des progrès à l'ordre du jour, citons encore l'extension que tendent à prendre les méthodes de carbonisation avec récupération des sous-produits, de gazéification des combustibles de toute espèce, crus ou carbonisés, l'alimentation des foyers au moyen de charbon pulvérisé, les procédés variés d'utilisation des combustibles inférieurs, des déchets, des imbrûlés.

Sur toutes ces questions, l'attention des intéressés est journellement sollicitée par la publicité donnée aux résultats obtenus, par les livres, les conférences et les revues techniques. A ceux qui sentent le besoin d'être guidés et assistés dans le choix des solutions, dans l'établissement et dans la conduite des appareils, il est loisible de s'adresser à des organisations offrant toute garantie de compétence, telles que les associations de propriétaires d'appareils à vapeur, qui n'ont pas seulement pour but d'accroître la sécurité, mais aussi l'économie de la production de la vapeur chez leurs adhérents, et l'Office central de Chauffe rationnelle, créé tout exprès pour mettre à la disposition du public les moyens de contrôler et d'améliorer le fonctionnement des foyers de toute sorte, de former les chauffeurs et d'instruire les chefs de chauffe.

A ce mouvement contribuent encore les expositions comme celles récemment organisées, à Mulhouse, par l'Association alsacienne des Propriétaires d'Appareils à vapeur, et au Grand Palais des Champs-Élysées, par la Ville de Paris.

La Commission, pour ce qui la concerne, indépendamment des encouragements qu'elle peut trouver l'occasion de procurer à ces diverses initiatives, se propose de publier des rapports sur un certain nombre de points qu'il lui paraît ou lui paraîtra utile de signaler particulièrement.

Au cours de cette publication successive, les questions seront abordées dans un ordre quelconque, au fur et à mesure de l'établissement, sur tel ou tel sujet, d'un rapport qui aura paru susceptible de fournir des renseignements instructifs.

Pour le début de la série, on trouvera ci-après un premier rapport, dû à la 2e sous-commission, sur la réduction réalisable dans la consommation des combustibles minéraux par l'emploi du bois comme combustible industriel, spécialement en métallurgie.

Ce rapport est suivi du texte des vœux émis par la Commission sur ce sujet dans ses séances des 20 mai et 22 juillet 1920.

Le vice-président de la Commission,
WALCKENAER.

Le secrétaire,
LANCRENON.

Utilisation du bois de chauffage comme combustible industriel.

RAPPORT DE LA DEUXIÈME SOUS-COMMISSION.

Préliminaires. — Pour permettre à l'industrie française de reprendre toute l'activité nécessaire au relèvement économique du pays, la première condition à remplir serait, évidemment, de fournir à cette industrie les quantités de combustibles dont elle a besoin.

Or, même s'il était possible de se procurer à l'étranger les tonnages suffisants pour pallier au déficit des exploitations nationales, l'importation de ces combustibles, solides ou liquides, tout en résolvant le problème au point de vue technique, nuirait de façon singulière au rétablissement de la balance commerciale et ne saurait, en aucune manière, être considérée comme une solution pratique satisfaisante.

Il est, en effet, indispensable, tout en accroissant progressivement la valeur des exportations, de réduire, aussi étroitement que possible, la consommation des matières qui doivent être achetées au dehors, et de chercher par tous les moyens à mettre en œuvre le maximum des ressources disponibles dans le pays.

Il convient ainsi d'intensifier le rendement de toutes les exploitations existantes, pour les charbons de toutes qualités, de créer de nouveaux centres d'extraction de la houille, etc., mais il importe aussi, au premier chef, de ne pas négliger les combustibles de remplacement qui, sous réserve de quelques aménagements des appareils utilisateurs, peuvent rendre aux intéressés d'excellents services, et contribuer à réduire, de façon notable, le tonnage total de charbon nécessaire aux industriels français.

La Commission d'Utilisation des Combustibles trouve, dans le bois de chauffage, un de ces produits de remplacement dont le domaine national peut fournir des quantités importantes, et auquel il semble qu'on n'ait pas, jusqu'ici, attribué tout l'intérêt qu'il mérite.

Nous nous proposons donc d'indiquer succinctement :

1° L'importance des disponibilités nationales actuelles du bois de chauffage ;

2° La valeur de ce produit comme combustible industriel ;

3° Les résultats d'ores et déjà acquis, dans la voie indiquée ci-dessus, par les industriels avisés qui, dès la première heure, se sont posé et ont résolu le problème de l'utilisation de ce combustible.

I. — *Importance des disponibilités nationales actuelles en bois de chauffage.* — Avant d'examiner la valeur du bois de chauffage comme combustible et les emplois qu'on en peut faire dans l'industrie, il est naturel de chercher à chiffrer l'importance des ressources nationales dont on peut disposer immédiatement.

Et, tout d'abord, il nous faut répondre à la crainte largement répandue et fréquemment exprimée, que la mise en exploitation des bois et des forêts ne conduise fatalement au bouleversement des conditions climatériques du pays, à la dévastation des sites et à toute une série de cataclysmes qui paraissent d'autant plus redoutables qu'ils sont moins nettement précisés : « Voyez ce qui s'est passé pendant

la guerre, dit-on ; des provinces entières ont été dénudées; des forêts séculaires ont été rasées! Voilà le régime qu'on se propose de généraliser par toute la France! »

Les exploitations intensives effectuées au cours des hostilités ont porté principalement sur les bois d'œuvre d'essence tendre; en ce qui concerne les bois de feu, ces exploitations et les dévastations de forêts dans la zone de combat auront sans doute pour conséquence de réduire la production sur certains points; mais comme les bois de feu, marchandise encombrante, sont grevés de frais de transport élevés ne permettant leur utilisation que dans un rayon relativement peu étendu, cette diminution de production n'affectera pas l'ensemble du pays et ses effets resteront localisés.

D'autre part, toute livraison rationnelle de bois de chauffage à l'industrie doit se baser sur les ressources de forêts résultant des aménagements qui ont pour but de ménager l'avenir.

Les vœux émis par la Commission d'Utilisation des Combustibles, en vue de favoriser le développement de la consommation du bois de chauffage dans les usines, vœux qui sont rappelés à la fin de ce mémoire, tiennent largement compte de ce double point de vue.

Les bois et forêts couvrent un cinquième de la superficie totale de la France, soit une dizaine de millions d'hectares, dans lesquels la propriété domaniale ou communale entre pour 3 millions et la propriété particulière pour 7 millions environ.

La statistique des forêts de France, publiée en 1912 par la Direction générale des Eaux et Forêts, montre que ces forêts produisent annuellement une moyenne de 35 millions de stères de bois de feu, auxquels il convient d'ajouter les bois de chauffage provenant des arbres de haies, des plantations de peupliers, des arbres des routes et des canaux, non compris dans la statistique. Cette production complémentaire, évaluée à 5 millions de stères, compense approximativement la diminution de production des forêts dévastées par le fait de la guerre.

Mais il convient d'observer que, si la production d'avant-guerre était généralement absorbée par la consommation domestique, elle était cependant supérieure aux besoins : notamment les petits bois (fagots, bourrées) étaient délaissés et abandonnés sur le parterre des coupes. Les hauts cours actuels font rechercher ces bois, donnent de la valeur à des coupes difficiles d'accès, éloignées des gares et des ports, qui deviennent susceptibles d'exploitation avantageuse et invitent les propriétaires à intensifier leurs exploitations dans la limite où le permettent les disponibilités en main-d'œuvre. La plus-value acquise par les bois d'œuvre a aussi pour conséquence une exploitation plus importante de ces bois et, par suite, une augmentation de la quantité de bois de feu livrée à la consommation.

Dans quelles proportions le bois de chauffage pourra-t-il servir à l'industrie? Il est difficile de le dire exactement; mais il est certain que dans les régions boisées, principalement dans celles où dominent les essences feuillues, elle pourra disposer de quantités intéressantes de bois de feu, à la diffusion lointaine desquelles les prix de transport feront nécessairement obstacle.

Si on considère, comme nous le démontrerons plus loin, que 3 à 5 stères de bois valent sensiblement au point de vue calorifique une tonne de houille et qu'à puissance calorifique égale le bois est notablement moins cher que la houille, on se rend compte de l'intérêt, pour l'industrie, d'employer ce combustible et des économies que cet emploi permettra de réaliser, en réduisant l'importation si onéreuse, et si problématique même, des combustibles étrangers.

II. — *Le bois de chauffage et le charbon de bois considérés comme combustibles industriels.* — La quantité considérable d'eau que le bois retient dans ses fibres est un des principaux arguments qu'on oppose à la consommation du combustible végétal dans les foyers industriels : « Le transport de l'eau de la forêt jusqu'à l'usine est onéreux dit-on, et c'est justement cette eau qui réduit, dans des proportions notables, le pouvoir calorifique de la matière. »

Il faut bien reconnaître, cependant, que si le bois fraîchement coupé présente une teneur moyenne en eau de 50 p. 100, en poids, il en perd assez rapidement une quantité importante, puisque cette proportion se réduit de moitié, environ, au bout d'un an de séjour à l'air libre; au bout de quelques années, on ne trouve plus, dans les bois entreposés à couvert, que 15 à 20 p. 100 d'eau. La portée de l'objection signalée se trouve ainsi considérablement réduite.

D'autre part, à l'étuve, à une température comprise entre 125° et 140°, on arrive à dessécher complètement la matière. Cette solution qui, *a priori*, peut paraître dénuée de toute valeur pratique, est cependant très facilement réalisable dans la grande majorité des industries, où l'on évacue dans l'atmosphère, sans les utiliser, des milliers de mètres cubes de fumées, capables de fournir, sans dépense supplémentaire, les calories nécessaires à la dessiccation des bois. Un grand nombre de dispositifs peuvent être imaginés, qui résolvent le problème de manière satisfaisante.

L'avantage qu'on trouve à pratiquer cette opération est clairement mis en évidence par l'examen du tableau ci-après, qui donne le pouvoir calorifique correspondant aux diverses humidités des fibres. Ce pouvoir calorifique, qui est sensiblement indépendant de l'essence, croît de 250 calories, environ, à chaque gain de 5 p. 100 dans le degré de sécheresse de la matière et ressort comme étant très satisfaisant tant que l'humidité ne dépasse pas 5 à 10 p. 100.

Teneur en eau p. 100.	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Pouvoir calorifique..	4.250	4.006	3.762	3.519	3.275	3.031	2.787	2.544	2.300	2.056	1.812
Pouvoir calorifique relatif............	100	94,3	88,5	82,8	77,1	71,3	65,6	59,9	54	48,3	42,7

Si l'on tient compte des indications de ce tableau et du fait que, après séchage à l'air, le poids du stère est de 500 kg, pour le bois dur (noyer, chêne, châtaignier) ou de 350 kg pour le bois tendre (bouleau, pin), on constate qu'il faut consommer de 4 à 5 stères de bois dur ou de 6 à 7 stères de bois tendre pour remplacer une tonne de houille à 7000 calories.

La teneur en cendres des bois varie de 1 à 4 p. 100, suivant l'essence, la nature du terrain, les conditions atmosphériques de vie, etc. Ces cendres contiennent de 15 à 16 p. 100 de sels alcalins solubles, dont 85 à 90 p. 100 à l'état de carbonates de potasse et de soude. Ces observations suffisent à faire ressortir qu'on peut récupérer, par tonne de bois brûlé, 25 kg environ d'un engrais direct, titrant 9 p. 100 de K^2O, ou, en moyenne, 3,5 kg de carbonate alcalin.

La manutention du bois est normalement plus coûteuse que celle du charbon, car celle-ci est communément réalisée au moyen d'appareils mécaniques, tandis que celle-là ne se fait, la plupart du temps, qu'à bras d'hommes.

D'un autre côté, l'encombrement du bois en stock est assez important; de plus, il convient, pour éviter les dangers d'incendie, d'emmagasiner le bois à une certaine distance des bâtiments d'exploitation.

Pour en terminer avec les inconvénients de ce genre de combustible, il faut signaler que, en raison de sa faible densité, le coût du transport à la tonne est notablement accru. Par contre, il est important de remarquer, d'une part, que les bois peuvent être considérés, le plus souvent, comme frets en retour, et, d'autre part, qu'ils offrent la possibilité de pratiquer un des modes de transport le moins onéreux qui soient, le flottage. Enfin, le moyen le plus efficace à mettre en œuvre, pour éviter l'ordre de difficultés ci-dessus mentionné, serait de développer l'utilisation du bois de chauffage dans les régions forestières elles-mêmes, où le charbon ne devrait être introduit que dans les cas, somme toute extrêmement rares, où le combustible végétal ne saurait le remplacer.

En résumé, compte tenu des avantages et des inconvénients indiqués plus haut, on peut conclure que, dans l'état actuel des choses et tant que se maintiendront les prix élevés atteints par la houille, l'emploi du bois de chauffage se présente, pour les industriels, non pas seulement comme un palliatif à la disette de charbon, mais bien comme un moyen économique de produire les calories nécessaires à leurs fabrications.

Le charbon de bois est le produit de la distillation du bois de chauffage : c'est un corps contenant, en moyenne, 80 p. 100 de carbone, 4 p. 100 de cendres, le reste étant constitué par des matières volatiles et de l'eau hygroscopique.

Lorsque la distillation est faite en vase clos, on obtient les rendements approximatifs suivants :

Carbone	25 à 27	p. 100
Eau et divers	50 à 45	—
Goudrons	6 à 8	—
Gaz	19 à 20	—

L'eau provenant de la distillation renferme de l'acide acétique et de l'alcool méthylique, sous-produits rémunérateurs; quant aux gaz, ils sont susceptibles d'être employés au chauffage des appareils, ce qui diminue notablement le coût de l'opération.

Le poids du mètre cube de charbon de bois en morceaux varie de 250 à 150 kg, suivant qu'on part de bois dur ou tendre.

Le charbon de bois est un produit extrêmement pur; il peut remplacer le coke ou l'anthracite dans les gazogènes spéciaux, réservés à l'emploi de ces combustibles, ainsi que dans les appareils à combustion lente utilisés dans le chauffage domestique. Il est également passé normalement dans les gazogènes à houille, sans plus de difficultés que le coke; sa mise en œuvre, étant donné le peu de cendres qu'il contient, réduit même à néant les opérations de piquage.

Le charbon de bois présente à peu près les mêmes inconvénients que le bois au sujet de l'encombrement des stocks et du coût du transport à la tonne; il possède également les mêmes avantages relatifs à la pureté, à la qualité des cendres comme engrais, etc. Enfin, on peut en réaliser la manutention mécanique dans ces conditions satisfaisantes.

Il est à souhaiter que la consommation de ce combustible se généralise, en ce

qui concerne les chauffages domestique et industriel, à une époque où le coke et l'anthracite sont si chers et si rares.

Ces renseignements théoriques étant fournis, voyons les résultats donnés, dans la pratique industrielle, par l'utilisation du bois de chauffage.

III. — *Résultats acquis dans l'utilisation du bois de chauffage comme combustible industriel.* — Nous ne pouvons, évidemment, pas étudier ici la diversité des circonstances rencontrées dans la pratique; nous nous bornerons donc à examiner de plus près le chauffage des fours métallurgiques au gaz produit par la consommation du bois dans les gazogènes.

Ces deux cas particuliers nous paraissent, en effet, présenter un intérêt spécial pour les raisons suivantes : les chaudières, en ce qu'elles sont d'un emploi extrêmement généralisé, la moindre installation industrielle ayant, en France, sa station de production d'énergie; les fours métallurgiques, en ce qu'ils consomment des quantités considérables de chaleur, et principalement, en sidérurgie, à des températures très élevées. Si l'expérience montre qu'on peut fondre économiquement de l'acier avec du gaz au bois, il deviendra évident que toutes les opérations courantes de transformation, telles que les travaux de verrerie, de céramique, de métallurgie des petits métaux, etc., peuvent être effectuées, également, dans de bonnes conditions.

Chaudières chauffées au bois. — Tout le monde sait que les chaudières peuvent être chauffées au bois; il n'est donc pas besoin ici de citer des exemples. Mais, ce qui est moins connu, ce sont les conditions à réaliser pour obtenir un rendement satisfaisant, c'est-à-dire pour vaporiser une quantité d'eau qui soit dans un rapport convenable avec le nombre de calories disponibles dans le tonnage de bois passé sur la grille.

M. Kammerer, Ingénieur en chef de l'Association alsacienne des Propriétaires d'Appareils à Vapeur, dont la compétence en la matière est bien connue et sous l'impulsion de qui l'utilisation du bois a reçu un développement considérable dans nos provinces de l'Est, a bien voulu résumer les indications d'ordre général que son expérience l'a amené à formuler sur les conditions d'emploi économique et rationnel du combustible végétal. Voici ces renseignements :

« Le bois est le combustible solide qui contient le plus de matières volatiles, soit 86 p. 100.

« Cette particularité et le fait qu'à pouvoir calorifique égal, il occupe un volume de quatre à sept fois plus élevé que la houille sont deux considérations des plus importantes pour l'aménagement, la forme et les dimensions à donner aux foyers destinés à brûler du bois.

« Si l'on admet, pour fixer les idées, que la vitesse de combustion du bois est du même ordre de grandeur que celle de la houille, il faudrait, d'après ce qui précède, pour produire la même quantité de chaleur, avoir, sur la même surface de grille une couche de bois de quatre à sept c'est-à-dire, en moyenne, cinq fois et demie plus épaisse que celle de houille, soit environ 60 cm contre 10 à 12, qui est l'épaisseur habituelle de la couche de charbon sur les grilles.

« Mais cette règle est loin d'être rigoureuse ou constante, car la vitesse de combustion du bois est très variable avec l'essence, le degré d'humidité et surtout la dimension des morceaux.

« Les bois légers, surtout les essences résineuses, brûlent rapidement, tandis qu'au contraire les bois durs restent compacts, se transforment en charbon et brûlent lentement. Tous les bois, d'ailleurs, brûlent d'autant plus lentement qu'ils sont plus humides et que les morceaux sont plus volumineux.

« L'humidité, d'ailleurs, joue un rôle prépondérant dans la combustion du bois, qu'elle peut même rendre presque impossible, si elle dépasse certaines proportions. L'intérêt de s'en affranchir est tel, qu'en Amérique, dans les régions forestières où l'on brûle couramment du bois, on considère les installations de séchoirs, soit naturels (hangars couverts), soit artificiels (séchage à l'air chaud), comme le complément de tout chauffage rationnel au bois.

« Il faudrait pouvoir tenir compte de toutes ces circonstances pour dimensionner rationnellement un foyer au bois, sans oublier, en outre, qu'en raison de la très forte teneur en matières volatiles et des longues flammes qui en résultent, il faut de la place et beaucoup de place entre le bois en ignition et les surfaces de chauffe relativement froides, car un contact prématuré des gaz enflammés avec ces parois les éteint et produit une combustion incomplète très préjudiciable au rendement.

« En pratique, l'adaptation des foyers de chaudières à vapeur au chauffage au bois en bûches ou rondins de 1 m de longueur environ, le seul qui soit considéré ici, revient à une augmentation de la hauteur du foyer, qui doit être d'autant plus grande que les quartiers sont plus volumineux et que le bois est plus humide.

« Cette augmentation peut être obtenue pratiquement dans les chaudières à foyer extérieur existantes (chaudières à bouilleurs, semitubulaires ou multitubulaires) de deux façons différentes, soit en baissant la grille dans son ensemble tout en la laissant horizontale, soit en l'inclinant plus ou moins vers l'arrière sans changer le sommier d'avant. Les deux modes sont employés, en général, sans modification de la devanture, mais ils excluent alors, le premier, à peu près complètement, le second, si l'inclinaison est forte, l'emploi simultané de la houille et du bois.

« On peut aussi, quand la construction de la devanture (en deux pièces) le permet, baisser, en même temps que le niveau de la grille, celui des portes de chargement, ou remplacer toute la partie inférieure de la devanture par un four en briques, muni d'une grande porte à coulisse mieux appropriée à l'enfournement du bois que les petites portes destinées à la houille. Cet avant-foyer devant servir plus spécialement au séchage, ne doit comporter qu'une plaque et non une grille. Un léger rétrécissement du foyer vers le bas, par inclinaison des joues latérales, correspondant à une diminution de la surface de grille, paraît présenter des avantages au point de vue de la vivacité de la combustion; cette pratique est assez usitée en Amérique. On peut obtenir le même effet en couvrant la grille le long des deux joues du foyer, sur la largeur d'une brique, de maçonnerie réfractaire. Des transformations de ce genre sont généralement faciles, peu coûteuses, et aucun industriel, amené à brûler du bois pendant un temps appréciable, ne devrait hésiter à les entreprendre.

« Les chaudières à foyer intérieur, sauf celles du type locomotive, sont, en raison de l'exiguïté de la chambre de combustion, beaucoup moins aptes à brûler du bois que celles à foyer extérieur. On peut y réussir, soit en construisant des avant-foyers, comme cela se fait couramment pour les déchets de bois, auquel cas les grilles sont inclinées ou à gradins, soit en remplaçant les grilles planes par de petites inclinées, de forme circulaire, venant s'appliquer sur les tubes-foyers.

« Le contact direct du bois en ignition avec la partie inférieure des tubes-foyers ne présente pas d'inconvénients. Comme, quoique doublé, le volume du foyer reste encore relativement restreint, il est bon que le bois enfourné soit sec et les quartiers de faible section, sans quoi l'allure de la combustion reste faible et l'excès d'air exagéré.

« En ce qui concerne la production de vapeur, on arrive, avec des foyers extérieurs, tels qu'ils sont généralement dimensionnés par la houille, à brûler entre 100 et 130 kg de quartiers de bois par mètre carré de grille et par heure, ce qui correspond à une production de vapeur égale aux deux tiers environs de celle qui est considérée comme normale avec la houille; mais il faut pour cela que le bois soit pratiquement sec, pour brûler assez vite, et que l'on tienne le foyer presque complètement rempli, ce qui rend la conduite du feu pénible.

« Si l'on augmente le volume de foyer de 40 à 60 p. 100, par abaissement de la grille, il est relativement facile de brûler environ 200 kg de quartiers par mètre carré de grille primitive et par heure, et d'obtenir la même production de vapeur qu'avec la houille. On peut aussi, et ceci est souvent appliqué dans la pratique, avoir recours au chauffage mixte, houille et bois, en constituant d'abord, sur la grille, un lit de houille et de mâchefers, et en n'ajoutant, qu'après, les quartiers de bois. Ce chauffage mixte, lorsqu'on dispose des deux combustibles, présente de multiples avantages, tels que le maintien de la production de vapeur sans modification notable du foyer, la facilité d'un coup de collier et celle de la couverture des feux.

« En ce qui concerne la conduite du feu et le réglage du tirage, il est presque impossible, en tout cas beaucoup plus difficile qu'avec la houille, de donner *a priori* des conseils ou des indications générales, d'autant plus que ni la couleur du feu, ni la production de fumée ne peuvent servir de point de repère. Seule, l'analyse complète des gaz et les mesures de température renseignent sur la bonne marche et l'économie de la combustion.

« Le rendement d'une chaudière chauffée au bois peut, ainsi que de nombreux essais exécutés par l'Association alsacienne le prouvent, atteindre les mêmes valeurs que pour le chauffage à la houille; s'il ne les atteint pas toujours c'est que, sans compter l'excès d'air qui, dans les foyers insuffisamment modifiés, est souvent exagéré, les gaz de la combustion présentent la plupart du temps à la sortie de la chaudière une température plus élevée, attribuable à deux causes : la longueur des flammes et la température moindre du foyer qui diminue la chaleur transmise par rayonnement aux surfaces de chauffe directes.

« Les conseils à donner pour l'emploi du bois dans l'industrie peuvent se résumer comme suit :

« Ne brûler que du bois sec ou le sécher au préalable;

« Refendre les quartiers ou les bûches trop fortes, de manière à n'avoir, au maximum, que des sections de 1 dm^2;

Aménager les foyers, ce qui, pour presque toutes les chaudières à foyers extérieurs, consiste simplement à baisser les grilles autant que possible, pour permettre d'empiler le bois sur une grande hauteur, mais en évitant que les flammes viennent se briser contre les surfaces de chauffe; enfin contrôler la combustion pour déterminer la position du registre, qui, généralement, devra être un peu moins ouvert qu'avec le chauffage à la houille. »

Tel est le remarquable extrait que M. Kammerer a bien voulu nous communiquer, de sa note plus complète, intitulée : « Emploi du bois comme combustible industriel » et parue dans les *Annales de l'Association alsacienne.* On se rend compte que la question est, dès maintenant, parfaitement au point; les propriétaires d'appareils à vapeur, dont les installations se trouvent dans les régions forestières, ne courent aucun risque en abandonnant la consommation du charbon pour celle du bois, et ils peuvent se disposer à recueillir, sans arrière-pensée, les avantages, au point de vue de l'économie, que leur procure leur situation géographique : facilité d'approvisionnement et réduction de prix des transports.

Nous croyons inutile de donner ici des références : sur toute l'étendue du territoire, les exemples de chaudières chauffées au bois abondent, et il suffit de se renseigner auprès des usagers pour se convaincre. Nous nous bornerons à signaler, en terminant, un rapport très intéressant de M. de la Condamine, ingénieur principal de l'Office central de Chauffe rationnelle, rendant compte de l'emploi du bois dans un certain nombre d'usines du centre de la France. Il ressort de ce document que, dans cette région du pays, l'utilisation du bois a donné des résultats très satisfaisants et que d'heureuses applications en ont été faites non seulement au chauffage des chaudières, mais encore à l'alimentation de gazogènes de fours de verrerie, de foyers de cuves à asphaltes, etc.

Fours Martin chauffés au bois. — Quand elles eurent constaté que la pénurie de houille risquait de réduire considérablement leur activité, un certain nombre d'aciéries Martin se proposèrent de chercher à remplacer le charbon par le bois, pour l'alimentation de leurs gazogènes. Le problème pouvait, *a priori*, paraître des plus ardus, étant donnée la qualité du gaz qu'il est indispensable d'obtenir, pour produire les quantités de chaleur, à haute température, nécessaires à la fusion et à l'affinage de la charge.

L'expérience, cependant, a montré que, sans modifications sensibles des appareils et sous réserve, seulement, d'une conduite convenable de la gazéification, il était possible de remplacer, dans les gazogènes d'aciéries, tout ou partie de la houille par du bois de chauffage. Pour montrer que les résultats obtenus correspondent, non pas seulement à des essais de faible durée, mais bien à des réalités pratiques, nous nous proposons de décrire, dans ce rapport, les régimes normaux réalisés, à l'aciérie, dans un certain nombre d'établissements métallurgiques, pendant des périodes de marche de quinze jours consécutifs au moins. Les indications que nous reproduisons ci-dessous nous ont été communiquées : par M. Léon Lévy, directeur général de la Compagnie des Forges de Châtillon, Commentry et Neuves Maisons; par M. Dumuis, directeur général de la Société des Aciéries et Forges de Firminy, et par M. de Haut, directeur général de la Société des Forges de Franche-Comté, à qui nous sommes heureux d'exprimer ici notre très vive gratitude pour leur aimable autorisation de publier, dans l'intérêt général, les renseignements donnés.

Aux Forges de Franche-Comté, on marche régulièrement, à l'heure actuelle, en consommant, par tonne d'acier produit, environ :

200 kg de charbon de qualité moyenne et de 420 à 500 kg de bois, suivant l'essence, les 450 kg de bois remplaçant environ 200 kg de charbon.

Le bois est chargé en morceaux de 66 cm de longueur, pour éviter les difficultés

de main-d'œuvre qu'entraîneraient le sciage et le transport de la matière en fragments plus petits.

La seule modification apportée aux gazogènes existants, qui sont d'un type ancien, à grille fixe, a consisté à surélever la cuve, de manière à accroître l'épaisseur de la couche combustible.

Comme on l'a vu plus haut, les résultats obtenus ont été satisfaisants; le seul inconvénient constaté réside en ce fait que la durée moyenne d'une opération a été augmentée de 10 p. 100 environ.

Les gazogènes de l'aciérie Martin de la Société de Firminy ont été alimentés avec un mélange de bois et de charbon pendant le dernier trimestre 1919 et le premier trimestre 1920. A partir du mois d'avril de cette année, on a pu renoncer à tout emploi de houille.

Les gazogènes en service sont du type Hilger, à décrassage automatique : ils n'ont subi aucune espèce de modification, ni pour la marche avec le mélange bois-charbon, ni pour la marche au bois seul.

Le bois est consommé, normalement, à l'état de fragments de 20 cm de longueur, le diamètre ne dépassant pas une dizaine de centimètres; mais on utilise également les sciures et les déchets.

La mise en feu est faite à la houille, puis on passe sans aucune difficulté à l'alimentation au bois seul. Dans ce régime, l'appareil est chargé jusqu'à la cloche, de façon à augmenter l'épaisseur de la couche combustible.

Pendant le premier trimestre 1920, la consommation de combustible par tonne de lingots livrés aux ateliers décarburateurs a été de : Bois, 515 kg; Houille, 148 kg.

Dans la marche au bois seul, réalisée depuis plus de trois mois, la consommation correspondante a été de : Bois, 700 kg environ.

Les aciéries Martin de la Société de Firminy, qui ont normalement trois fours de 25 t en feu, n'ont éprouvé aucune difficulté dans l'emploi du gaz ainsi obtenu et ne signalent aucune réduction, dans leur production de métal, imputable à ce mode de chauffage.

Avant de procéder à la mise en route de leurs fours Martin avec du gaz de gazogènes alimentés au bois, les ingénieurs des usines de Neuves-Maisons, de la Compagnie des Forges de Châtillon, Commentry et Neuves-Maisons, ont fait établir, dans la cuve de leurs appareils Poetter, une petite murette destinée à contraindre le gaz de traverser toute l'épaisseur de la couche combustible avant d'atteindre l'orifice d'évacuation; la chambre ainsi formée entre la murette et les parois de la cuve devait, en outre, être remplie de coke. D'autre part, les caisses de chargement furent transformées, car le dispositif existant ne convenait pas à l'introduction du bois.

Sous réserve de ces très légères modifications apportées à l'installation, on passe normalement dans les gazogènes : *a*) des fragments de bûches sciées à 15 cm de longueur environ, antérieurement refendues dans le cas de rondins de trop gros diamètre; *b*) des brins de charbonnette, mis à la même longueur; *c*) les déchets de sciage.

Pour une pression du vent de soufflage de 20 à 30 mm d'eau, sans addition de vapeur, le gaz obtenu présente la composition moyenne suivante :

CO^2 6,60 p. 100 CO 23,30 p. 100 CH^4 3,30 p. 100 H 11,90 p. 100

Dans ces conditions, les relevés effectués pendant une période de 15 jours consécutifs, font ressortir une consommation moyenne par tonne de métal élaboré de : Bois, 625 kg; Coke, 26 kg.

Ces chiffres comprennent la consommation de combustible pendant les arrêts du dimanche, soit deux fois 24 heures.

La production d'un four de 20 à 25 t, en 13 jours de travail, est de 41 opérations d'acier demi-dur et dur.

Ces résultats comparés à des résultats antérieurs, montrent que 2,1 t de bois remplacent, à peu près exactement, 1 t de houille de bonne qualité, d'un pouvoir calorifique de 7 000 calories environ.

Le service des aciéries de Neuves-Maisons n'a pas rencontré de difficulté spéciale à passer de l'alimentation des gazogènes au charbon seul à l'alimentation de ces appareils au bois seul ou presque seul. Le régime des fours n'a été aucunement modifié par le changement du gaz livré.

Conclusions. — Nous croyons avoir fait ressortir, dans l'exposé qui précède, un certain nombre de points que nous résumons succinctement ci-dessous.

Tout d'abord, les ressources de la France en bois de chauffage permettent, dans les régions forestières, d'économiser un tonnage important de houille, sans que l'exploitation de ces bois ne nuise en rien au domaine forestier du pays; ce domaine, d'ailleurs, sera d'autant mieux sauvegardé, que le reboisement sera pratiqué de façon plus judicieuse et plus intensive.

Sous certaines conditions d'emploi, le bois doit être considéré comme un combustible industriel excellent : il restera, en outre, économique tant que le charbon se maintiendra aux environs des cours élevés pratiqués actuellement. Les résultats obtenus, en régime courant, dans un grand nombre d'industries, tant pour le chauffage des chaudières que pour le chauffage des appareils divers et même des fours Martin, montrent que la question n'est plus dans la période des essais, mais bien dans la phase des réalisations.

Il convient donc de recommander à tous les industriels, surtout à ceux dont les établissements se trouvent dans les régions forestières, d'examiner attentivement la possibilité de remplacer la consommation de la houille par celle du bois et d'entreprendre, sans arrière-pensée, les légères modifications qu'il est opportun, dans ce but, de faire subir à leurs appareils. C'est en vue de renseigner les intéressés et de leur faciliter leurs approvisionnements que la Commission d'Utilisation des Combustibles a émis des vœux dont, semble-t-il, la présente note légitime les considérants, et dont il nous paraît utile, pour terminer, de rappeler ci-dessous le texte.

Le rapporteur,
CORNU-THÉNARD.

Vu :
Le président de la deuxième sous-commission,
MÉTAYER.

VŒU DE LA COMMISSION D'UTILISATION DES COMBUSTIBLES ÉMIS AU COURS DE LA SÉANCE DU 20 MAI 1920.

La Commission d'Utilisation des Combustibles,

Considérant qu'il existe, dans diverses régions de la France, des ressources considérables de bois de chauffage et qu'il est possible de mettre en œuvre ces ressources du sol national, sans compromettre l'exploitation rationnelle du domaine forestier du pays ;

Considérant que l'utilisation de ces ressources permettrait de combler une partie notable du déficit actuel de houille, lequel menace de s'accroître, pendant un certain temps encore, au fur et à mesure de la reprise de l'activité industrielle de la France ;

Considérant comme démontré pratiquement que, avec ou sans addition de combustible supérieur, le bois peut être employé moyennant une adaptation convenable des foyers, dans la plupart des appareils de chauffage domestique ou industriel, tels que générateurs de vapeur ou gazogènes (force motrice ou gaz), fours de céramique ou de verrerie, fours métallurgiques, fours Martin, etc...

Émet le vœu :

Qu'il soit tenu compte, dans la répartition du combustible entre les divers groupements régionaux, des disponibilités en bois de chauffage des régions correspondantes ; qu'en outre, l'État mette à la disposition du public des ressources en bois dont il dispose, soit dans ses forêts domaniales, soit dans les plantations de l'administration des Ponts et Chaussées, et que les facilités données aux transports de bois soient développées le plus possible et portées à la connaissance du public ;

Que les groupements répartiteurs de charbons, chacun dans son rayon d'action, provoquent par tous les moyens à leur disposition l'exploitation rationnelle des ressources en bois de chauffage et l'utilisation de ce bois comme complément ou remplacement partiel du charbon, et qu'au besoin, ils tiennent compte des ressources en bois dans la répartition du combustible entre leurs adhérents ;

Que, dans un but de prévoyance, les pouvoirs publics, en invitant par les ordres précis les administrations compétentes à donner l'exemple aux particuliers, assurent le reboisement des régions forestières exploitées, et provoquent le boisement des terrains libres appropriés, notamment par la culture des arbres à croissance rapide ;

Enfin, que, par mesure de protection, tant que les circonstances économiques actuelles se maintiendront, les exportations de bois et déchets de bois soient exactement réglementées, de manière à réserver à la France tout le profit qu'elle peut tirer de ses combustibles.

VŒU DE LA COMMISSION D'UTILISATION DES COMBUSTIBLES ÉMIS AU COURS DE LA SÉANCE DU 22 JUILLET 1920.

La Commission d'Utilisation des Combustibles,

Rappelant les divers considérants par lesquels elle croit avoir légitimé le vœu formulé par elle dans sa séance du 20 mai 1920 ;

Constatant la persistance de la pénurie de combustibles et de la crise des transports,

Complète les suggestions présentées par elle, dans sa réunion précitée, en émettant le vœu :

Que les charbons de bois produits en France soeint réservés à la consommation nationale et que, en conséquence, l'exportation en soit interdite ;

Que la charbonnette soit comprise dans l'interdiction d'exportation du bois de chauffage, sauf dérogations justifiées ;

Que les organismes compétents, et notamment les groupements répartiteurs de charbon, fassent connaître aux intéressés dans la plus large mesure possible, le mode d'utilisation rationnelle de ces combustibles de remplacement ;

Et que le ministre de l'Agriculture signale au département des Travaux Publics les existants invendus risquant de se perdre sur les coupes.

NOTES D'AGRICULTURE

par M. H. Hitier,
membre du Conseil.

L'année agricole 1920. — Si l'agriculture française n'a pas encore retrouvé sa production d'avant-guerre, de sensibles progrès ont été réalisés, les récoltes de 1920 sont supérieures à celles des années antérieures, en céréales, en sucre et en vin, le cheptel se reconstitue et si malheureusement la cherté de la vie persiste, des indices très nets indiquent que la baisse des produits agricoles est commencée; paille, foin, avoine, sucre par exemple cotent fin décembre 1920 des prix moitié moindres qu'il y a 6 ou 8 mois, et enfin, encore symptôme très encourageant, les exportations de produits agricoles se sont accrues de façon très sensible.

Récoltes des céréales. — Les apparences des champs de céréales au printemps de 1920 faisaient concevoir aux agriculteurs les plus belles espérances. Rarement avaient-ils pu admirer, par exemple, plus beaux champs de blé à la fin d'avril; l'hiver et le printemps avaient été des saisons très favorables, mais fin mai et juin présentèrent, au contraire, une série de jours froids et humides; la floraison du blé eut lieu dans de médiocres conditions, des plantes adventives se développèrent souvent avec une vigueur extraordinaire (telles les vesces sauvages); à la récolte on obtint sans doute des gerbes en extrême abondance, mais au battage celles-ci rendent peu de grains. Quoi qu'il en soit, le Ministère de l'Agriculture a pu estimer la récolte de blé en France en 1920 à 62.706.000 q alors que la récolte de 1919 n'avait été que de 49 millions de quintaux.

Comme toujours le rendement moyen à l'hectare est très différent d'une région à l'autre. Le tableau suivant indique ce rendement :

Régions.	Quintaux par hectare.
Nord	17,82
Est	12,53
Ouest	13,10
Centre	12,74
Est Central	11,39
Sud-Ouest	9,26
Massif Central	10,21
Midi	11,29
Moyenne générale	12,29

C'est dans la région du sud-ouest que le rendement s'est montré le plus faible. A plusieurs reprises, dans des notes antérieures, nous avons insisté sur les faibles rendements de cette grande région à blé de l'Aquitaine et cherché à en expliquer les causes.

Le tableau officiel, par contre, ainsi que l'a fait justement remarquer M. Henry Sagnier, permet de faire ressortir les résultats des magnifiques efforts des agriculteurs dans les régions dévastées. Dans les cinq départements les plus éprouvés par la guerre : Aisne, Ardennes, Nord, Pas-de-Calais, Somme, on compta 389.100 ha cultivés en blé, au lieu de 233.700 en 1919; c'est une augmentation de 155.400 ha. Le rendement moyen général y atteint près de 17 q par hectare (16,89); il dépasserait 17 q, s'il n'était pas diminué par le rendement dans le département des Ardennes qui est moins élevé que dans les autres parties des régions dévastées.

Une récolte de 62 millions de quintaux de blé est, hélas, loin d'assurer à la France le blé dont elle a besoin. D'après les évaluations officielles la consommation pour l'année 1920-1921 était estimée à 82 millions de quintaux, et, pour y satisfaire, les Services du Ravitaillement avaient prévu, dès l'automne, l'achat de 55 millions de quintaux de blé indigène, 7 millions de quintaux de seigle indigène, d'autre part l'achat de 14 millions de quintaux de blé étranger et de 6 millions de succédanés.

Il est certain maintenant que nous ne serons pas obligés de faire à l'étranger de si lourds achats de blé et céréales panifiables, car la consommation du pain a très sensiblement diminué, de près de 15 p. 100 peut-être, et cela uniquement parce que le prix du pain ne permet plus le gaspillage. Faut-il rappeler que, l'an dernier, le pain était vendu chez les boulangers 0,55 f le kilogramme alors que son prix de revient était plus que double; le pain était l'aliment le meilleur marché qu'on puisse se procurer, on le gaspillait, on en donnait aussi aux bêtes, car l'avoine valait 100 à 120 f le quintal. Maintenant que le pain est payé 1,30 f le kilogramme, on le ménage et on n'a plus surtout aucun intérêt à en donner aux animaux puisqu'on peut avoir de l'avoine à 50 f le quintal et même au-dessous.

Bref on estime que, au lieu d'acheter à l'étranger 20 millions de quintaux de céréales panifiables, comme on l'avait prévu, 10 à 12 millions de quintaux seront suffisants; cela est très heureux pour nos finances, et aussi parce que, somme toute, les disponibilités mondiales en blé sont plutôt restreintes, d'après les estimations recueillies par l'Institut international d'agriculture de Rome.

Pour le seigle, la récolte de la France a été, en 1920, de 8.426.630 q contre 7.299.307 q en 1919.

Pour l'orge, de 7.707.310 q en 1920, contre 4.999.840 q en 1919.

Pour l'avoine enfin, de 42.228.010 q contre 24.935.840 q en 1919.

Voici, du reste, un tableau résumant la production du blé, du seigle, de l'orge et de l'avoine pour les années 1920, 1919, 1918, 1917, 1916 et 1915 est, comme terme de comparaison, le rendement moyen de la période décennale 1904-1913.

Production en France des principales céréales de 1915 à 1920 (en quintaux).

Années.	Blé.	Seigle.	Orge.	Avoine.
1920.	62.706.270	8.426.630	7.709.310	42.228.010
1919.	49 657.700	7.299.307	4.999.840	24.935.840
1918.	61.435.840	7.349.860	5.982.000	25.619.760
1917.	36.625.570	6.261.350	8.130.650	31.099.940
1916.	55.767.320	8.471.580	8.331.890	40.223.810
1915.	60.630.200	8.420 160	6.920.790	34.625.980
Moyenne normale 1904-1913 . . .	88.431.270	13.092.400	9.744.560	48.596.690

Les chiffres des récoltes de la période décennale d'avant-guerre montrent quels efforts nous restent à faire, spécialement pour le blé, afin de retrouver notre ancienne production : efforts pour accroître d'une part les surfaces emblavées, et, d'autre part, pour augmenter le rendement à l'hectare.

Les surfaces emblavées en blé en 1920 n'ont été que de 4.854 340 ha alors que pendant la période décennale 1904-1913 la moyenne avait été de 6.539.500 ha, avec un rendement moyen à l'hectare de 13,21 q. Nous avons vu plus haut qu'en 1920 le rendement moyen a été 12,29 seulement.

Si le commerce de l'orge et de l'avoine est enfin redevenu complètement libre, sauf en ce qui concerne l'exportation de ces grains, — réclamée cependant de toutes parts par les producteurs français, — le commerce du seigle et du blé reste jusqu'au 1er août 1921 soumis aux règles fixées par la loi du 9 août 1920 « sur l'alimentation nationale en blé ».

Le blé devrait être payé aux agriculteurs 100 f par 100 kg, « ces prix s'entendant pour les grains de qualité dite loyale et marchande, du poids de 77 kg par hectolitre ».

En réalité bien peu de blés sont payés 100 f ; car, par suite des conditions météorologiques de l'été, la plupart des blés ne pèsent que 74 à 75 kg l'hectolitre, et enfin, comme les meuniers ont leurs moulins encombrés de blé, que la circulation des grains à l'intérieur de la France n'est pas libre de départements à départements, les cultivateurs cèdent souvent leurs blés à 95 et même 90 f le quintal pour se procurer l'argent qui leur est nécessaire.

L'article II de la loi du 9 août stipule nettement qu' « à partir du 1er août 1921 et pour les céréales à provenir de cette récolte, le commerce sera libre à l'intérieur ». Espérons-le; tous les agriculteurs réclament cette liberté qui, toutefois, ne leur sera rendue. ils doivent ne pas se faire d'illusions, que si le prix du blé ne doit pas dépasser 100 f le quintal.

La situation de notre cheptel. — La hausse des prix de la viande, la difficulté de se procurer du lait presque partout, dans les villes comme dans les campagnes, appellent, d'une façon spéciale, l'attention sur l'état actuel de notre cheptel. Les renseignements que nous avons, chiffres officiels, datent malheureusement déjà de un an, ils se rapportent à un recensement effectué à la fin de l'année 1919.

M. Henry Sagnier dans une chronique du *Journal d'Agriculture pratique*, a extrait de la statistique publiée par le Ministère de l'Agriculture, les tableaux suivants dans lesquels il a comparé aux chiffres de 1919 ceux du dernier recensement régulier qui ait été opéré avant la guerre, c'est-à-dire celui du 31 décembre 1913 (le recensement de 1919 ne comprend pas non plus l'Alsace-Lorraine).

CHEPTEL FRANÇAIS.

	Au 31 décembre **1913**.	Au 31 décembre **1919**.
Espèce chevaline :		
Animaux au-dessous de trois ans (têtes) . . .	671.870	512.360
Animaux de trois ans et au-dessus —	2.550.210	1.900.830
Total de l'espèce	3.222.080	2.413.190
Espèce mulassière (têtes)	188.280	167.180
Espèce asine —	356.310	303.100

	Au 31 décembre 1913.	Au 31 décembre 1919.
Espèce bovine :		
Taureaux (têtes)	284.190	231.223
Bœufs —	1.843.160	1.261.070
Vaches —	7.794.270	6.327.510
Élèves de un an et au-dessus (têtes)	2.853.650	2.721.230
Élèves de moins de un an —	2.012.440	1.832.620
Total de l'espèce	14.787.710	12.373.660
Espèce ovine :		
Béliers au-dessus de un an (têtes)	293.640	184.390
Brebis au-dessus de un an —	9.288.460	5.558.880
Moutons au-dessus de un an —	2.580.810	1.075.220
Agneaux et agnelles de moins de un an (têtes)	3.968.480	2.172.500
Total de l'espèce	16.131.390	8.990.990
Espèce porcine :		
Animaux reproducteurs { verrats (têtes)	38.560	26.350
Animaux reproducteurs { truies —	906.790	617.830
Animaux à l'engrais de plus de six mois (têtes)	2.800.760	1.468.250
Porcs jeunes de moins de six mois —	3.289.740	1.968.130
Total de l'espèce	7.035.850	4.080.560
Espèce caprine (têtes)	1.434.969	1.166.779

Il ressort de ce tableau que les principales espèces ont subi de 1913 à 1919 des diminutions globales qui se formulent en ces termes : espèce chevaline, 26 p. 100; espèce bovine, 16 p. 100; espèce ovine, 44 p. 100; espèce porcine, 42 p. 100. Toutefois, il convient de remarquer que, sauf pour l'espèce ovine dont la diminution s'est accentuée d'année en année durant cette période, il y a eu en 1919 une certaine récupération par rapport à l'année précédente.

On se préoccupe surtout, et avec raison, de l'avenir du bétail bovin; il est donc utile d'examiner sur quelles catégories de cette espèce porte spécialement la diminution de 2 millions et demi de têtes accusée par les statistiques données plus haut.

Si, de 1913 à 1919, la perte sur l'ensemble du troupeau bovin a été de 16 p. 100, elle a atteint 19 p. 100 sur les vaches, ce qui donne un pronostic peu favorable pour la reconstitution de ce troupeau, et laisse pressentir combien d'années seront nécessaires pour revenir à l'ancien état.

Ces résultats paraissent, au premier abord, en contradiction avec les constatations que l'on peut faire dan s nombre de régions d'élevage où les étables sont garnies autant qu'elles l'étaient naguère, parfois même davantage. Mais on doit tenir compte qu'elles renferment surtout de jeunes animaux que les besoins de la consommation enlèvent avant l'âge normal; il convient aussi de constater que les dix départements, entièrement ou en partie envahis et dévastés par la guerre, dans lesquels la statistique accusait 1.581.000 bêtes bovines en 1913, n'en ont aussi que 710.000 à la fin de 1919.

Depuis le 31 décembre 1919, l'effectif de notre cheptel s'est-il amélioré? Il est permis hélas d'en douter, car la fièvre aphteuse a sévi et sévit encore dans la plupart de nos régions. Si presque toujours la maladie se montre assez bénigne et

n'entraîne pas la mort des animaux adultes, par contre les cas sont plus graves chez les jeunes animaux, et chez les bêtes en état de gestation les avortements sont fréquents.

Quant à la reconstitution du cheptel dans nos régions dévastées, elle aurait dû se poursuivre par des envois de bétail allemand comme restitution des animaux qui avaient été détruits ou volés. Jusqu'ici la France n'a reçu que 65.560 bovidés, et la Commission des Réparations, après de longues et délicates délibérations, vient de décider que dans une période de six mois devaient nous être livrés seulement 90.000 bovidés dont 30.000 vaches pleines et génisses pleines. La Commission des Réparations devant, avant l'expiration de cette période de six mois, se prononcer sur les quantités complémentaires que l'Allemagne devra livrer ultérieurement.

On voit combien nous sommes loin, très loin de nous voir restituer les animaux enlevés dans nos régions dévastées. En attendant, des besoins considérables en viande se manifestent dans nos départements du Nord et de l'Est, nous devons y satisfaire par des prélèvements faits sur le cheptel des autres régions de la France et c'est là une des raisons de la demande intense d'animaux de boucherie, demande dépassant l'offre et entraînant cette hausse exagérée de la viande, dont nous souffrons tous comme consommateurs.

Les Pouvoirs publics, depuis longtemps, se sont émus de cette situation; et, dès 1915, afin de sauvegarder l'avenir du troupeau, un décret du 14 octobre prohibait l'abatage de certains animaux pour être livrés à la boucherie. Tout récemment un nouveau décret, en date du 18 octobre 1920, est venu compléter et renforcer les décrets précédents, en interdisant d'abattre avant quatre dents de remplacement les veaux femelles.

Mais ici, comme dans tous les cas d'une réglementation générale, imposée par l'État, l'on n'a pas pu tenir compte des conditions si variées que présentent nos exploitations agricoles dans les différentes régions de la France. Il y a maintes fermes où l'on se livre à la production du lait par exemple, et dans lesquelles il faudrait y renoncer si l'on devait garder les veaux, il y a maintes exploitations, même dans les pays d'élevage, où l'on doit engraisser une partie des veaux dans l'impossibilité de tout élever, faute de places dans les étables, faute de nourriture en quantité suffisante; si l'on devait garder les veaux, il faudrait vendre des vaches. Aussi les protestations se sont élevées contre ce nouveau décret, de tous côtés, et le Ministre est obligé d'accorder chaque jour de plus nombreuses dérogations.

Le remède à la situation grave que nous traversons n'est pas là, semble-t-il; il faudrait d'abord que chacun, dans toutes les classes de la société, comprît la nécessité de se restreindre quant à la consommation de la viande; la crise de chômage, que subissent malheureusement trop d'ouvriers, amènera forcément cette restriction dans des milieux où depuis la guerre la consommation de la viande avait particulièrement augmenté. Ensuite, il y a lieu d'importer le plus possible des viandes congelées, frigorifiées, pour ménager notre cheptel.

Enfin, ce cheptel, nous pouvons et nous devons en tirer un plus grand rendement en le sélectionnant encore et en sachant mieux utiliser tourteaux et aliments concentrés dans l'engraissement du bétail.

Nous avons, en France, d'admirables races, très précoces comme les races charolaise et limousine, par exemple, qui peuplent aujourd'hui les étables de

nos départements de Saône-et-Loire, de la Nièvre, de l'Allier, du Cher, de la Haute-Vienne, de la Charente, de la Dordogne, de la Vienne, etc.; avec les jeunes animaux de ces races, nos éleveurs, depuis longtemps, approvisionnent le marché de Lyon en viande de « bovin précoce » pesant 500 à 600 kg avant l'âge de deux ans.

Mais, dans d'autres régions de la France, on élève encore trop de bêtes de race quelconque, et on utilise comme taureau n'importe quel mâle sans s'inquiéter de son origine, de ses qualités : de très grands progrès sont à réaliser.

D'autre part, nous ne savons pas utiliser les tourteaux pour l'alimentation du bétail, ou plutôt leur emploi n'est pas assez généralisé. La production des tourteaux en France, dans nos huileries de l'intérieur, mais surtout de nos ports, Marseille, Nantes, la Rochelle, Bordeaux, etc., est estimée à 500.000 t. Nous en consommons une infime quantité.

Au contraire, dans tous les pays où la production laitière, l'engraissement du bétail, l'entretien d'un cheptel beaucoup plus dense qu'en France, est pratiqué intensivement, la consommation des tourteaux est la règle dans toutes les fermes; c'est ce qui s'observe en Hollande, en Danemark, en Angleterre.

MM. A. Gouin et P. Andouard, dans un admirable petit livre, *Élevage intensif, veaux et porcs, lait et viande* (1) viennent encore de vulgariser les méthodes d'élevage et d'engraissement avec les tourteaux, en appuyant leurs conseils sur des expériences et des observations personnelles qui ne laissent aucun doute.

Une propagande est à entreprendre en France dans ce sens : il faut absolument apprendre à nos agriculteurs à employer les tourteaux d'une façon courante dans l'alimentation de leurs animaux.

Le sucre. — Pendant la campagne 1918-1919, 51 fabriques de sucre seulement avaient travaillé et la production n'avait été que de 106.982 t de sucre; en 1919-1920, 60 fabriques donnèrent 152.000 t de sucre; enfin pendant cette dernière campagne, 63 fabriques ont travaillé et l'on estime que la production de sucre atteindra 300.000 t. C'est, sans doute, un progrès; mais, en 1912-1913, 213 fabriques avaient produit 877.656 t de sucre.

La culture de la betterave et la sucrerie ont été en effet une culture et une industrie agricoles particulièrement atteintes par la guerre, puisque l'une et l'autre se trouvaient pour la plus grande partie dans les régions qui, dès 1914, ont été envahies par les armées ennemies.

Quel est l'avenir de la sucrerie française? C'est une question qu'il est aujourd'hui bien difficile de savoir, et cependant elle intéresse, au premier chef, nos régions agricoles les plus riches.

Pendant la guerre, le sucre extra-européen a gagné beaucoup de terrain. En 1910-1911, il y avait quasi-égalité entre la production de sucre de canne, 8.390.000 t et la production du sucre de betterave européen, 8.095.000 t. Or, en 1918-19, le sucre de canne a fourni 12.300.000 t tandis que le sucre de betteraves européen tombait à 3.700.000 t.

Grâce aux énormes bénéfices réalisés depuis 1914 par les producteurs de sucre de canne, planteurs et fabricants ont pu apporter à leurs cultures et à leurs usines des perfectionnements très importants : sélection de la canne, construction de

(1) Librairie agricole, 25, rue Jacob, Paris.

fabriques avec l'outillage le plus moderne; une grande partie, sinon la totalité des dépenses ainsi faites ont pu, en outre, être amorties.

Dans quelles conditions avantageuses, dès lors, semblent donc placés planteurs et fabricants de sucre de canne, quant au prix de revient du sucre, pour concurrencer le sucre de betterave!

Ici encore, — du fait de la guerre, de ses fabriques de sucre détruites et à reconstruire, de ses terres à betteraves, sur de vastes surfaces bouleversées (zones du Soisonnais, du Santerre, du Cambrésis), ailleurs tout au moins restées incultes, privées d'engrais et de façons aratoires, — la France se trouve dans une situation tout particulièrement désavantagée.

En outre la baisse du cours des sucres vient de jeter une profonde perturbation dans le monde des producteurs de betteraves et fabricants de sucre français.

La baisse du prix du sucre sur le marché français qui n'est en rapport ni avec les cours pratiqués sur les marchés étrangers ni avec les approvisionnements du pays, a été une surprise extrêmement pénible pour les agriculteurs (1). En effet, le marché à terme ayant été supprimé pendant la guerre et n'ayant pas été rétabli jusqu'ici, il a été impossible de conclure, au printemps dernier, entre les fabricants et les agriculteurs, les conventions relatives à l'achat d'une partie de la récolte, ainsi que la méthode était générale autrefois. Actuellement, sauf pour les contrats, plutôt rares, conclus d'avance à prix ferme, les prix offerts par les fabricants, qui dépendent de ceux auxquels ces derniers peuvent vendre leurs sucres, sont d'un tiers inférieur aux prix qu'avaient escomptés les agriculteurs, et ne leur permettent pas, dans un grand nombre de cas, de couvrir les frais de culture qui se sont accrus dans d'énormes proportions.

De là un grand découragement dans les régions de culture de la betterave, alors qu'au contraire cette culture devrait prendre de nouvelles extensions pour revenir à la situation d'avant-guerre.

« Quelques palliatifs sont tentés pour réduire les pertes infligées aux agriculteurs; mais ce ne peuvent être que des atténuations à une situation déplorable. Ce qui importe surtout, c'est de sauvegarder l'avenir et d'arrêter le découragement qui se manifeste de toutes parts dans les régions à betteraves.

« Pour atteindre ce but, il est nécessaire que les agriculteurs et les fabricants aient le moyen de faire des contrats qui sauvegardent les intérêts des uns et des autres.

« Cette ressource indispensable se trouve dans le retour à la situation qui existait autrefois, c'est-à-dire dans le rétablissement du marché à terme dont le fonctionnement servait de base à la rédaction de ses contrats.

« Toutes les industries de transformation, dont le caractère est le même que celui de la fabrication du sucre, ont à leur disposition ces éléments indispensables de régularité dans leurs opérations. Le marché à terme fonctionne normalement à Paris et au Havre pour les cotons et pour les laines. On ne peut objecter aucune objection valable au rétablissement de ce marché pour les sucres. »

Et M. Henry Sagnier, dans son lumineux rapport à l'Académie d'Agriculture sur cette question (séance du 15 décembre 1920), ajoutait qu'une solution devait intervenir sans retard; car c'est dès décembre, janvier que s'effectue la préparation

(1) Henry Sagnier, Chronique agricole du *Journal d'Agriculture pratique* (16 décembre 1920).

des terres pour la betterave et que les contrats se signent entre les fabricants et leurs fournisseurs.

L'Académie d'Agriculture pour tous ces motifs a exprimé l'avis que le marché à terme sur les sucres à la Bourse de Commerce de Paris devait être rétabli sans délai.

Quelques personnes, peut-être, se diront, qu'après tout, si la France ne produit plus sur son sol de sucre de betterave, le mal ne sera pas grand, que nos colonies, que Cuba, Java, l'Inde, etc., nous fourniront, à un prix peut-être plus bas que celui du sucre indigène, du sucre de canne. Ce serait bien rapidement oublier les leçons de la guerre et la nécessité de produire sur notre sol national la plus grande quantité possible des denrées dont nous avons besoin. Ce serait surtout méconnaître le rôle de la culture de la betterave industrielle dans l'économie générale de notre production agricole en blé et en viande; ce qu'exprimait l'Académie d'Agriculture dans le considérant qui précède son vœu :

« La nécessité impérieuse de maintenir en France la culture de la betterave à sucre qui est le pivot des rendements élevés en blé. »

C'est là, en effet, un point de vue que l'on ne doit jamais perdre de vue dans cette question du sucre et de l'alcool et de la culture de la betterave.

Le vin. — Au moment où nous écrivons ces Notes (31 décembre 1920), les déclarations de récolte, en ce qui concerne les vins, n'ont pas été complètement publiées; celles de onze départements manquent encore; on semble d'accord pour les estimer à 5 ou 6 millions d'hectolitres, et nous aurions ainsi en 1920 obtenu 55 à 56 millions d'hectolitres de vins; alors que, l'an dernier, la récolte déclarée n'était que de 51.461.000 hl.

La récolte de 1920 est une « bonne moyenne ». La moyenne décennale 1904-1913 était de 53.390.000 hl.

Elle devrait s'écouler sans difficulté; or l'on constate sur les marchés vinicoles un manque de transactions qui dans certaines régions viticoles comme le Bordelais crée à la propriété chez les négociants une situation réellement grave.

La sériciculture. — L'enquête séricicole de 1920 (*Journal officiel* du 22 décembre), dans cette branche spéciale de notre production agricole de la région du Sud-Est, apporte une nouvelle preuve de la reprise de l'activité générale : 65.592 sériciculteurs ont mis en incubation 72.826 onces de graines de vers à soie et ils en ont obtenu 3.202.904 kg de cocons frais.

En 1919, 52.401 sériciculteurs seulement n'avaient mis en incubation que 57.165 onces de graines de vers à soie et la production de cocons frais n'avait atteint que 2.321.547 kg. Il y a donc réel progrès mais il ne faut pas oublier que la moyenne décennale 1904-1913 avait été de 6.881.000 kg de cocons et que la moyenne de la production avant l'épidémie (1852) était de 25 millions de kilogrammes.

* * *

L'agriculture incontestablement, en France, a réalisé depuis quelques années de très grands produits bruts argent, étant donné le prix auquel se sont vendus les vins, la viande, le lait, le beurre, les fromages, les œufs et les céréales non

taxées. La plus grande partie du sol français est *cultivée* par des familles paysannes dont tous les membres travaillent la terre de leurs mains. Ces familles paysannes ont économisé avec le plus grand soin pour acheter le domaine qu'elles exploitaient comme fermiers, métayers, pour arrondir les champs qu'elles possédaient déjà. Souvent dans leur soif d'acquérir la terre, elles n'ont pas craint de payer celle-ci à un taux très élevé, nullement en rapport avec le loyer du fermage. Cette concurrence sur le marché de la terre et cette hausse des prix de vente ont faussé les idées du grand public sur les bénéfices réels que laisse en définitive l'agriculture. En réalité dans les exploitations où, au lieu de cultiver avec le seul secours des bras de la famille, on doit effectivement rétribuer une main-d'œuvre salariée abondante, les bénéfices restent souvent modiques et aujourd'hui, devant la baisse des prix de beaucoup de produits agricoles — que dans l'intérêt général il faut souhaiter du reste voir se généraliser — les hommes les plus réfléchis et les mieux au courant de la conduite des exploitations agricoles s'inquiètent de l'avenir de ces exploitations.

Jusqu'à présent, en effet, si les cours du vin sont tombés de 100 f et plus l'hectolitre à 50 et 60 f, les cours du sucre de 400 f à moins de 200 f, le prix des pailles de 180 et 200 f à 60 et 75 f, l'avoine de 100 f à 50 f, les frais généraux de la ferme n'ont guère fait qu'augmenter; les superphosphates restent encore à 28 f les 100 kg, le nitrate à 118 f, les scories à 25 f, le sulfate de cuivre à 220 f, et l'on n'enregistre aucune baisse sur les prix des fers, des instruments agricoles, etc., etc.

Les capitaux engagés dans les exploitations agricoles ont triplé, parfois quadruplé.

Il reste difficile de se procurer la main-d'œuvre et aujourd'hui, dans beaucoup de régions, on la paie trois fois, pour certains travaux cinq fois ce qu'on la payait avant la guerre, ce qui, nous le reconnaissons, est une nécessité étant donnée la cherté de la vie.

Comment résoudre le problème de la production agricole et de la vie chère?

L'agriculteur peut envisager, à son point de vue particulier, deux solutions. Produire peu mais alors vendre très cher, ou produire beaucoup en se contentant d'un léger bénéfice sur chaque vente. Point n'est besoin d'insister pour montrer que dans l'intérêt général du pays la seconde solution, production abondante, intensive, seule peut être retenue. L'autre, au point de vue moral et social comme au point de vue du pays, est à condamner.

Mais alors les agriculteurs demandent, et avec combien de raison! que le régime des taxations et des interventions de l'État, dont ils ont tant souffert pendant la guerre, cesse une fois pour toutes. Ils demandent aussi qu'on ne vienne pas rendre encore plus difficile la question du travail agricole par des réglementations qu'au fond l'immense majorité des travailleurs agricoles de nos campagnes ne réclame pas.

Le *Bureau international du Travail*, à Genève, convoque pour le courant de l'été prochain, une Conférence internationale concernant la réglementation du travail agricole.

Les représentants les plus autorisés des associations agricoles non seulement de la France, mais aussi des pays étrangers, considèrent une telle réglementation comme dangereuse et particulièrement inopportune à l'heure actuelle, cela ressort très nettement de la discusion officieuse qui eut lieu, à ce sujet, à Rome en novembre dernier, entre les délégués des États adhérents à l'*Institut international d'Agriculture*, à l'occasion de la cinquième assemblée générale de cet institut. Les considérations qui déterminent les agriculteurs à penser que le rejet de conventions interna-

tionales concernant la réglementation du travail agricole s'impose, ont été exposées d'une façon magistrale par le Comité de l'Union suisse des Paysans; on ne saurait mieux dire :

1. « L'humanité éprouve un besoin croissant des produits du sol et d'autres denrées transformées par l'industrie agricole. Pour le satisfaire, il faut intensifier l'activité et la production agricoles. Or le corollaire inéluctable de cette intensification est un accroissement de la somme de travail consacrée à l'agriculture.

2. « L'agriculture souffre dans la plupart des pays d'une pénurie de main-d'œuvre qui ne fait que s'aggraver. Elle a pris en plusieurs régions un tel caractère d'acuité que les agriculteurs se sont vus contraints de transformer peu à peu en pâturages et même en forêts une partie des terres cultivées.

3. « Une restriction inconsidérée de la durée du travail agricole aura donc infailliblement pour conséquence de mettre en danger l'alimentation et le bien-être de l'humanité. Une faute de ce genre peut avoir des conséquences funestes dans les pays industriels dont l'approvisionnement en denrées dépend de l'importation. Elle peut y provoquer un grave renchérissement de la vie entraînant la sous-alimentation des classes les moins aisées et même la disette permanente.

4. « Le travail agricole diffère à tel point de celui exécuté dans l'industrie et les métiers, qu'il est inadmissible de vouloir lui appliquer les prescriptions le réglant dans ses branches.

5. « La production agricole varie en outre dans une telle mesure de région à région, que le travail exécuté en agriculture ne saurait se prêter à des conventions internationales. D'autre part la réglementation du travail agricole est un domaine si nouveau et dans lequel on a si peu fait d'expériences qu'il est en tout cas prématuré d'en faire l'objet de conventions internationales. »

H. Hitier.

NOTE DU COMITÉ DES CONSTRUCTIONS ET BEAUX-ARTS

L'Exposition de Mobiliers au Salon d'Automne de 1920.

PAR

M. HENRY-RENÉ D'ALLEMAGNE.

Membre du Conseil de la Société d'Encouragement.

On aurait une tentation de dénommer la manifestation artistique du Salon d'Automne 1920 le « Salon des Jeunes ». Là, en effet, toutes les audaces sont permises : quelques-unes sont heureuses, d'autres sont plus discutables. Ainsi que s'exprime l'auteur du catalogue, M. PIERRE JAUDON, le Salon d'Automne est *une sorte de parti, agissant sous l'impulsion d'un chef. Des tendances bien caractérisées, une volonté collective de les faire prévaloir, une énergie persévérante mais pas agressive : voilà la méthode des vivants.*

Nous ne nous attarderons pas à juger les œuvres de sculpture et surtout de peinture, dont quelques-unes constituent de véritables rébus ou devinettes et nous irons de suite examiner la très importante série d'intérieurs et de mobiliers qui constitue certainement l'effort le plus remarquable d'art décoratif que nous ayons vu jusqu'à présent.

Tout d'abord nous signalerons une série importante d'intérieurs exposés par le magasin LE CONFORTABLE, qui n'est pas dépourvue d'intérêt, mais qui rappelle sensiblement ce que nous avons vu il y a quelques années aux Arts Décoratifs : ce sont des meubles très consciencieusement faits, mais sans idées bien nouvelles.

Un des ensembles les plus remarquables est le hall d'hôtel particulier qui a été dessiné par M. MARCEL MAGNE avec la collaboration de MM. MESNARD, menuisier; COLIN et COURCIER, fabricants de meubles; AUDIGER, serrurier; CHAMPIGNEULLE, peintre-verrier; MERCIER, ciseleur; et THIERCELIN, électricien.

Le plafond de cette pièce est d'un fort bel ensemble et d'une jolie exécution, et, tout autour de la pièce, court une frise, partie en marqueterie, partie formée de vitraux, qui la continue en la rendant en quelque sorte plus lumineuse. Tout l'ensemble est remarquable d'exécution et d'un dessin charmant.

Une autre pièce qui attire vivement la curiosité des visiteurs est la « nursery » de FRANCIS JOURDAIN. Il y a là une note excessivement gaie et tout à fait nouvelle. On sent que les enfants doivent être heureux de se trouver dans une ambiance pareille. Tous les détails sont réellement amusants. Sur des coussins se trouvent des lettres variées permettant de constituer des mots. Les lits des enfants sont couverts d'une cretonne figurant une vue de toits et de cheminées d'où s'échappent de longs cordons de fumée qui forment des préceptes moraux tels que celui-ci : « Ne

mens jamais! » La tonalité jaune clair des meubles, les tapis, les tentures, les boiseries, tout en un mot s'harmonise en un délicieux décor.

Quelques expositions manquent un peu de simplicité, dans leur présentation, telle est celle de M. Ruhlmann : on pénètre dans un sanctuaire, par un vestibule voûté, et, dans le fond, on aperçoit, ainsi que nous l'explique le catalogue, un bahut plaqué d'amboine et marqueté d'ivoire, rehaussé de bronze argenté. Le motif central représente « la Nuit et le Jour ».

Un peu au hasard, nous noterons les jolis tapis à point noué de M. Paul Follot, qui a exposé une salle à manger et un petit salon.

Non loin de là, l'exposition de M. Jacques Bruyer nous montre un salon destiné à la Compagnie Transatlantique. Cette pièce est composée de lambris en loupe de fresne, avec panneaux en érable gris tout marquetés de nacre. Dans les angles de la pièce, sur deux petites consoles figurées, s'élèvent deux jets d'eau en marqueterie de nacre d'un aspect intéressant.

Nous aimons moins la salle de bain exposée par M. Pierre Chareau, qui a eu l'idée pour le moins étrange de constituer des meubles avec du caillebotis d'acajou que l'on s'attendrait plutôt à trouver sur le sol de la pièce. La forme de la piscine avec un petit banc de repos est cependant une heureuse trouvaille.

Il est peu de meubles qui méritent une mention : ce sont des imitations assez serviles de ce qui a été fait au cours des deux derniers siècles. Quand les artistes cherchent à improviser, ils font ou de véritables horreurs ou des meubles absolument impraticables. Nous devons signaler cependant un meuble destiné à contenir l'argenterie dans une salle à manger, exécuté par M. Majorelle avec la collaboration de M. Alfred Levy : c'est très nouveau et nullement désagréable à l'œil.

Le même artiste possède toute une vitrine remplie de verreries dans lesquelles sont incrustées des pièces de fer forgé d'une fort jolie exécution.

Pendant que nous nous occupons de ce beau métal, signalons : le coq pour monument aux morts, d'un travail très important et très soigné, de M. Richard Desvallières; une fort jolie grille servant d'enveloppement de radiateur de M. Édouard Schenck ; le très beau lampadaire en fer forgé et marbre de M. Brandt : il y a là une alliance intime de ces deux matières qui est du plus heureux effet.

Mme Pangon nous montre un store en soie « batikké » d'une fort jolie tonalité et d'un dessin intéressant.

Enfin M. Ernest Jacques expose des robes de soie tissées à la main d'une exécution admirable.

Il n'est malheureusement pas possible dans une étude aussi courte de parler même sommairement des 40 à 50 stands qui figuraient au Salon d'Automne. On pourrait dire que dans chacun il y avait une idée à prendre, un effort à encourager. Certes, devant toutes ces élucubrations, on voit sur le visage des visiteurs errer bien souvent un sourire moqueur, mais c'est là un manque de jugement et un défaut de modestie, car si certaines choses nous paraissent un peu extraordinares aujourd'hui, il faut néanmoins saluer tous ces artistes comme des précurseurs qui, dans quelques années, seront probablement des maîtres arrivés, devant lesquels un chacun s'inclinera avec vénération.

Henry-René D'Allemagne.

Artistes cités.

La Confortable.
Marcel Magne, 34, quai de Béthune, à Paris.
Francis Jourdain, 2, rue de Sèze, à Paris.
Ruhlmann, 27, rue de Lisbonne, à Paris.
Paul Follot, 5, rue Schoelcher, à Paris.
Jacques Bruyer.
Pierre Chareau, 54, rue Nollet, à Paris.
Majorelle, 6, rue du Viel-Aitre, à Nancy.
Richard Desvallières, à Seine-Port (Seine-et-Marne).
Édouard Schenck, 9, rue Vergniaud, à Paris.
Edgard William Brandt, 101, boulevard Murat, à Paris.
Mme Marguerite Pangon, 64, rue la Boétie, à Paris.
Ernest Jacques, 17, boulevard Raspail, à Paris.

COMPTES RENDUS

DES SÉANCES DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE

DU 18 DÉCEMBRE 1920

Présidence de M. Lindet, *président*.

La séance est ouverte à 17 h.

Sont présentés pour devenir membres de la Société et admis séance tenante :

M. Estrade (Joachim), administrateur-délégué de la Société d'Electro-Motoculture, 1, rue Pierre-Germain, Carcassonne (Aude), présenté par MM. Semichon et Lemaire ;

l'Union de Consommateurs des Produits métallurgiques et industriels (U. C. P. M. I.), 31, avenue Montaigne, Paris (8e), présentée par MM. Robert Peugeot et Richemond (1921).

M. le Président annonce que :

M. Désiré Blard, 51, avenue de Suffren, Paris (7e), a déposé le 15 décembre 1920, un pli cacheté intitulé : *Notes sur l'hélicoptère.*

Ainsi que des comptes rendus bi-mensuels précédents en ont fait mention, M. le Président a fait appel à tous nos membres pour assurer le développement de notre *Bulletin*; il remercie ceux de nos collègues qui, depuis la dernière mention qui a été faite dans nos comptes rendus bi-mensuels, ont bien voulu continuer à s'imposer une contribution volontaire :

M. Hillairet, M. Drouet, M. Menvielle, MM. Ch. Lorilleux et Cie, MM. Auguste et Louis Lumière. M. Lorilleux nous a versé 1 000 f. MM. Lumière nous ont aussi versé 1 000 f.

M. le Président. — Notre Comité d'Agriculture a perdu un de ses membres, M. Paul Vincey, diplômé de l'École vétérinaire de Lyon et Ingénieur-agronome. Notre regretté collègue débuta, dans la carrière scientifique, en remplissant les fonctions de chef de service de zootechnie à l'École

d'Alfort, puis celles de professeur départemental d'agriculture du Rhône, Inspecteur adjoint de l'Agriculture et enfin, depuis 1892, de directeur des Services agricoles du département de la Seine. Tous ceux qui s'occupent des questions agricoles, alimentaires et sanitaires ont apprécié ses travaux, si documentés, sur les champs d'épandage, les marchés de la viande, les abattoirs, etc. M. Vincey a été président de la Société de Médecine publique et de Génie sanitaire; il était membre de l'Académie d'Agriculture, chevalier de la Légion d'honneur. Mme Vincey voudra bien recevoir nos respectueux hommages et nos profonds regrets.

Notre collègue, M. **Louis Ancel**, qui était membre à vie de notre Société, a trouvé la mort, le 13 septembre 1920, dans un accident d'automobile, alors qu'il traversait la forêt de Fontainebleau pour se rendre à Vichy en compagnie de son secrétaire.

La carrière de M. Ancel fut des mieux remplies. Après de fortes études classiques au Collège des Jésuites de Cantorbery, il était entré à l'École Centrale des Arts et Manufactures en 1894. Il y choisit la spécialité de chimiste et en sortit en 1917. Sa voie semblait toute tracée dans les importantes filatures que la famille Ancel possède à Granges dans les Vosges. Mais la science l'attirait. Il travailla successivement au laboratoire de chimie organique de l'Université de Paris, dirigé par Friedel, et au laboratoire d'astronomie physique du comte de la Baume-Pluvinel. Plus tard, en 1902, il fonda une maison de construction d'appareils de précision qu'il développa sans cesse et il installa, en 1907, sa maison et ses propres laboratoires dans son hôtel du boulevard Pereire.

Beaucoup de ceux qui l'ont connu, garderont un souvenir ému de son hospitalité charmante dans cette opulente demeure, encombrée d'appareils et d'instruments de toute sorte, étonnée sans doute de la destination inattendue que lui avait donnée notre studieux collègue.

C'est là qu'il étudia et fit réaliser quantité d'instruments nouveaux de T. S. F., d'électricité, de téléphonie sans fil, d'appareils électriques médicaux, de mesures électriques, notamment un cohéreur et un dispositif ingénieux de cellules de sélénium où il utilisait la conductibilité électrique de ce corps sous l'action d'un flux lumineux.

M. Ancel joignait à son amour de l'étude un vif sentiment de la solidarité qui, disait-il, doit unir tous les travailleurs d'une même corporation. Il se prodigua pour autrui avec un désintéressement complet et une discrétion absolue.

Nous croyons devoir rapporter ici un détail qui dépeindra bien l'homme qu'était M. Ancel.

Le 27 novembre 1913, notre Société devait donner, en séance publique

de son Conseil, une conférence sur la télégraphie sans fil; le conférencier était un officier supérieur qui, le matin même de la conférence apprit, par un télégramme, à notre agent général, M. Lemaire, qu'un ordre lui avait été donné la veille de quitter Paris immédiatement pour une mission urgente. Nos invitations étaient lancées; il fallait coûte que coûte trouver pour le soir même un conférencier bénévole, s'adressant à la catégorie d'auditeurs que nous avions invités. Sollicité par téléphone, M. Ancel, se prêta de bonne grâce à jouer le rôle ingrat de bouche-trou. Bien que très surmené par ses travaux de recherches, en quelques heures, en quelques minutes on peut dire, il organisa une conférence, avec présentation d'appareils, démonstrations et expériences, sur *le sélénium et ses applications en téléphonie sans fil, télévision et photométrie*. Ce fut un succès.

M. Ancel devait consacrer une partie de ses vacances de 1914 à rédiger le texte *in extenso* de la conférence qu'il nous avait faite au pied levé. La guerre l'en empêcha, puis, la paix venue, absorbé par ses travaux, il vint lui-même nous dire qu'il était obligé de différer la rédaction de ce texte, mais qu'il nous le promettait formellement. Il aurait certainement tenu sa promesse et nous aurait ainsi mis au courant des derniers perfectionnements apportés à ses appareils pendant la guerre. On aura une idée de ce que nous avons perdu par la lecture, dans notre *Bulletin*, du compte rendu analytique de la belle conférence qu'il nous a donnée le 27 novembre 1913 (1).

M. L. Ancel était membre d'un grand nombre de sociétés scientifiques et du Syndicat de la Précision, de l'Optique et des Industries qui s'y rattachent. C'était un beau caractère et un savant dans toute l'acception du mot, travailleur inlassable, sincère, modeste, désintéressé, dévoué, laissant à d'autres le soin de tirer profits et honneurs de ses inventions.

Nous adressons à la famille de notre regretté collègue nos sentiments de respectueuse condoléance.

M. Lafosse, présente un rapport, au nom de la Commission des Fonds, sur les comptes de l'exercice financier 1919.

M. Bordet, censeur, présente un rapport sur les comptes de l'exercice financier 1919.

Ces deux rapports (2) sont approuvés et, sur la proposition de M. Lafosse et de M. Bordet, des remerciements, pour la bonne administration de la Société et de ses fonds, sont adressés à M. Lindet, président, à MM. P. Toulon et H. Hitier, secrétaires, à M. Alby, trésorier, et à M. E. Lemaire, agent général.

(1) Voir le *Bulletin* de décembre 1913, p. 651.
(2) Voir leur texte *in extenso* dans le *Bulletin* de novembre-décembre 1920, p. 950 et 969.

M. H. Guillou, fait une communication sur son *système de courroie « Pieuvre »*.

L'effort de traction maximum qui s'exerce dans une courroie se produit dans le brin conducteur; c'est donc cet effort qui détermine les dimensions à donner à la courroie. La matière employée pour confectionner les courroies doit satisfaire à deux conditions : posséder une grande résistance à la traction et un coefficient de frottement élevé, d'où résulte l'adhérence. Ces deux propriétés ne se trouvent jamais réunies en même temps à un haut degré dans les matières employées jusqu'à présent. Le cuir tanné au chêne, qui résiste le mieux à la traction, possède un coefficient de frottement très faible (0,15 à 0,35) parce qu'il manque de souplesse et d'élasticité; il en est de même, quoique à un moindre degré, pour le coton, le poil de chameau, etc.

On peut, sans doute, augmenter l'adhérence en augmentant la tension de la courroie, c'est-à-dire ses dimensions transversales, ou en augmentant l'angle d'enroulement par le moyen d'un enrouleur de courroie, mais alors on augmente les résistances passives de la transmission, par exemple, la poussée sur les coussinets des arbres moteur et mû, et, par suite, le frottement.

Le cuir tanné au chrome imprégné de suif possède un coefficient de frottement élevé mais résiste mal à la traction. M. Guillou l'a associé au cuir tanné au chêne dans le type de courroie, dit pieuvre, qu'il a imaginé.

Ce type de courroie se compose :

1° D'une bande de traction à haute résistance en cuir tanné au chêne, en balata, ou en coton, selon les applications;

2° De lanières en cuir chromé imprégné de suif, assemblées sur la bande de traction au moyen de rivets creux. Ces lanières sont disposées parallèlement, dans le sens longitudinal, et jointives; le léger intervalle qui les sépare conserve à la courroie toute sa souplesse dans le sens transversal et permet l'évacuation facile de l'air qui est entraîné par la courroie aux très grandes vitesses.

On atteindrait ainsi facilement un coefficient de frottement de 1,50, et même de 1,78. Le brin conduit peut prendre alors une flèche qui représente plus du quart de sa portée.

Dans une application — il s'agissait de transmettre 50 ch — on a pu ainsi remplacer une courroie ordinaire en cuir de 17,33 cm^2 de section par une courroie pieuvre de 8,73 cm^2, et faire passer la poussée sur les arbres de 3,16 à 1,09. En substituant cette courroie à une ancienne, de même section transversale, on peut, sans remplacer les poulies en service par des poulies à jante moins large, augmenter le travail transmis de 80 p. 100.

Avec cette courroie, on a pu commander une poulie de 1,05 m de diamètre par une autre de 16 cm de diamètre, distante de la première de 1,50 m d'axe en axe. L'angle d'enroulement sur la poulie conductrice n'est que de 100°; on transmet ainsi 9 ch avec une vitesse de courroie extrêmement faible, 2 m : s.

Le nouveau type de courroie aurait donc les avantages de la chaîne tout en conservant ceux de la courroie : débrayage facile par poulie folle, glissement ou chute de la courroie en cas d'augmentation brusque de la résistance.

E. L.

M. LE PRÉSIDENT assure M. Guillou de l'intérêt que nos collègues ont pris à la communication qu'il vient de faire devant la Société; le texte de cette communication sera, suivant l'usage, soumis à l'examen de notre Comité des Arts mécaniques.

M. EMILE SAVY fait une communication sur une *auto-démouleuse à chocolat* construite par MM. E. Savy, Jeanjean et Cie.

La fabrication du chocolat était restée jusqu'en ces dernières années essentiellement la même qu'au XVIIIe siècle. Elle se faisait dans une série de machines : torréfacteur, casse-cacao tarare, moulin à meules chauffé, mélangeur (ou se faisait l'addition de sucre), broyeur, tables de moulage à trépidations ou tapoteuses, armoire froide. Les perfectionnements introduits par Hermann en 1830 ont consisté surtout dans la construction de ces machines et dans la substitution de l'énergie mécanique pour les actionner à celle de l'homme. Malgré cela, de nombreuses opérations se faisaient encore à la main jusqu'en ces derniers temps; tels étaient par exemple : la mise en moule, l'introduction dans l'armoire froide, l'extraction de cette armoire et le démoulage. Aujourd'hui, toutes ces opérations se font mécaniquement, sans interruption d'une opération à la suivante, depuis le broyage inclus jusqu'au démoulage. De plus, les moules froids, après sortie de l'armoire froide et démoulage, sont réchauffés et transportés mécaniquement jusqu'au poste de moulage, ce qui permet d'en réduire le nombre au strict minimum. Ce type de machine, construit par MM. Savy. Jeanjean et Cie, peut en outre fabriquer des articles de formes et de dimensions — même fort petites — très variées. La machine assure bien entendu une régularité de fabrication qu'il est impossible d'atteindre quand la conduite des opérations est laissée à la discrétion des ouvriers.

Ces dispositions ont permis d'économiser jusqu'à 75 p. 100 de la main-d'œuvre dans une fabrique récemment installée à Nantes. On compte actuellement 200 installations semblables pour la fabrication continue des articles en chocolat; elles représentent un capital de 16 millions de francs.

E. L.

M. LE PRÉSIDENT dit qu'il a vu fonctionner l'auto-démouleuse Savy et qu'il en a déjà apprécié la bonne marche et l'économie. La communication que M. Savy vient de nous faire sera étudiée par le Comité d'Agriculture, qui examine d'ordinaire les questions relatives aux matières alimentaires.

Il est procédé au dépouillement du scrutin pour l'élection des membres du Bureau de la Société qui doivent entrer en fonctions en 1921. Le *quorum* statutaire n'étant pas atteint, une deuxième assemblée générale sera tenue, conformément aux statuts, le 8 janvier 1921. A cette deuxième assemblée générale, l'élection se fait à la majorité relative des suffrages exprimés.

La séance est levée à 18 h. 15 m.

BIBLIOGRAPHIE

Traité de chimie analytique appliquée, par M. le professeur V. VILLAVECCHIA, directeur des Laboratoires chimiques des Douanes, à Rome. Traduit et annoté par M. P. NICOLARDOT, docteur ès sciences, membre de la Commission internationale d'Analyses. Tome II, in-8 de XI + 640 p., avec 107 fig. (Prix : 56 f). Paris, Masson et Cie, 1921.

Mon collègue, M. Chesneau, a déjà rendu compte (*Bulletin*, 1920, p. 399), du premier volume de l'ouvrage de Villavecchia et dit comment M. Nicolardot, avec la ténacité d'un Bénédictin et la compétence d'un chimiste expérimenté, spécialisé dans les questions d'analyse, en a su mener à bien la traduction, et présenter au lecteur, sous une forme nette, l'ensemble des méthodes relatives aux matières minérales et métallurgiques, aux combustibles et aux eaux, sélectionnées par le distingué directeur des Laboratoires des Douanes italiennes.

Chargé par le Comité d'Agriculture d'analyser le second volume, où sont traitées spécialement les méthodes d'analyse applicables aux farines, amidons et fécules, aux sucres et confitures, aux vins, bières, cidres, alcools et liqueurs, aux huiles essentielles et vernis, au caoutchouc, aux extraits tannants et aux cuirs, j'ai, après avoir étudié le texte de M. Nicolardot, relu le compte rendu que M. Chesneau avait écrit du premier volume, et je n'ai ici qu'à confirmer les qualités que celui-ci lui avait reconnues.

Ce n'est pas, dans chacun des chapitres, une énumération de toutes les méthodes qui peuvent être employées; le chimiste serait aussi embarrassé de choisir que nous le sommes quand on nous présente au restaurant un menu surchargé; nous préférons d'ordinaire que l'on nous indique le « plat du jour », et ce plat du jour, c'est la méthode que sa plus grande simplicité, sa plus grande concordance ont fait accepter par le plus grand nombre. Le praticien de laboratoire n'a pas besoin que l'on discute devant lui les critiques qui ont pu être soulevées à propos de telle ou telle méthode; il demande à être guidé; le traité d'analyse qu'il adopte est un outil de laboratoire; sans vouloir faire la moindre comparaison ancillaire, qui pourrait être fâcheuse pour le chimiste, je dirais que c'est un livre de recettes entre les mains d'une personne douée d'une habileté professionnelle.

Un écueil était à éviter dans une traduction de ce genre. La science est une, et dans toutes les langues, les lois qui établissent la tétratomicité du carbone, la réversibilité des réactions, etc., sont les mêmes; mais dans ce choix des méthodes d'analyse, on pouvait rencontrer des recettes peu employées en France; la cuisine italienne n'est pas toujours la nôtre. L'auteur a tourné habilement la difficulté en rappelant, sans défigurer le texte, les différences des méthodes plus communément employées en France; cette remarque avait d'ailleurs été faite par M. Chesneau.

L. LINDET.

De l'emploi des combustibles liquides. Notice publiée par la Compagnie occidentale des Produits du Pétrole. In-8 (26×20) de 36 p., avec IV planches. Paris, H. Desforges, 29, quai des Grands-Augustins (Prix : 5 f).

La Société d'Encouragement a reçu de la Compagnie occidentale des Produits du Pétrole une notice intéressante, *De l'emploi des combustibles liquides*. Cette notice est extraite d'une étude en préparation sur les combustibles liquides (résidus de pétrole, *fuel oil*, *mazout*, *pacura*) et leurs applications industrielles.

On y trouve un exposé sommaire, mais très clair, des conditions de la production et du transport des pétroles et des appareils d'utilisation. Elle complète utilement la belle conférence de M. Dumanois, dont le *Bulletin* de la Société a publié le texte (numéro de juillet-août 1920, p. 436).

Sauvage.

Cours d'organisation des fabrications mécaniques professé à l'École spéciale des Travaux publics, du Bâtiment et de l'Industrie, par M. le Général L. Gages. In-8 (22×17). Livre I : *Services de préparation*, de 478 p., avec 401 fig.; Livre II : *Montage et exécution des fabrications mécaniques*, de 490 p., avec fig. Paris, École spéciale des Travaux publics, rue du Sommerard, 1920.

Les fabrications mécaniques caractérisent l'industrie moderne. Plus que toutes autres, elles imposent à l'usine l'organisation développée dont la nécessité est de plus en plus évidente, car les moyens qu'elles mettent en œuvre, étant d'une très grande complexité, ne peuvent donner tous les résultats qu'on doit en attendre que s'ils ont été étudiés dans tous les détails avec une méthode réellement scientifique.

Pour s'en rendre compte, il suffit de parcourir les deux volumes du *Cours d'Organisation des Fabrications mécaniques*, de M. le général Gages, faisant partie de la remarquable bibliothèque de l'École spéciale des Travaux Publics. Il fallait la compétence de l'auteur, acquise au cours d'une carrière consacrée à la direction des fabrications mécaniques les plus délicates et les plus précises, pour condenser dans ces deux volumes la documentation considérable que comporte le sujet.

Quand on a passé en revue, dans le premier volume consacré au service de *la préparation*, tout ce qui concerne les outils simples et spéciaux utilisés pour la coupe des métaux, ainsi que ceux qui sont nécessaires pour les petits travaux de forge inséparables d'un atelier de fabrication mécanique; quand on s'est rendu compte du degré de précision que ces fabrications comportent; des conditions à remplir pour que cette précision soit obtenue au moyen des machines modernes; des soins qu'exige l'établissement des instruments de vérification et calibres, ainsi que l'installation et l'entretien des machines, on est prêt à aborder, avec le volume II : *Montage et Exécution des Fabrications mécaniques*, l'étude de la mise en œuvre de ces moyens.

L'organisation se dégage, à vrai dire, de l'exposé des moyens employés, dont le groupement naturel constitue les différents services. Toutefois, l'auteur relie son expérience personnelle aux principes exposés par Taylor, qui, prenant lui aussi pour point de départ les fabrications mécaniques, a jeté une si vive lumière sur toutes les questions d'organisation, et il se réfère aux applications qui en ont été faites en France.

Pour terminer, M. le général Gages s'étend sur l'établissement de la documen-

tation indispensable pour la composition et la rédaction des feuilles d'instructions, notamment en ce qui concerne la coupe des métaux, puis il aborde l'emploi des vérificateurs les plus délicats, et, enfin, après avoir examiné les différentes méthodes de rémunération du travail, il traite de l'établissement du prix de revient qui est la pierre de touche de la bonne organisation.

Cet ouvrage expose donc d'une façon extrêmement complète la question de l'organisation des fabrications mécaniques.

Ch. de Fréminville.

Traité de composition décorative, par M. Joseph Gauthier, diplômé de l'État pour l'enseignement de la composition décorative, professeur à l'École des Beaux-Arts de Nantes, et M. Louis Capelle, architecte diplômé, professeur à l'École des Beaux-Arts de Nantes. In-8 (24 × 16) de v + 398 p., avec 865 fig. et LIII pl. hors texte dont 1 en couleurs. Paris, Librairie Plon, 8, rue Garancière (Prix : 20 f).

M. Joseph Gauthier vient de continuer la série des ouvrages si remarquables sur la composition décorative et l'histoire de l'art qu'il avait commencée il y a quelques années en collaboration avec M. Louis Capelle. Le *Traité de Composition décorative*, qui a déjà fait l'objet d'un rapport dans notre *Bulletin*, est une œuvre tout à fait originale par la manière à la fois claire et précise dont elle édicte les règles qui doivent présider aux compositions décoratives. Cet ouvrage est divisé en six parties : 1° Géométrie, 2° Flore, 3° Faune, 4° Figure humaine, 5° Paysages décoratifs, 6° L'invention et les objets.

Dans chacune de ces parties, M. Gauthier montre toute l'utilité que l'on peut tirer des éléments décoratifs que l'on a dénommés « jeux de fonds ». Les très nombreux exemples qu'il nous donne ne sont rien en comparaison de la multiplicité réellement infinie à laquelle on peut atteindre en suivant ses préceptes si nets.

Nous savons surtout un gré infini à M. Cauthier d'avoir délibérément et complètement abandonné l'emploi des motifs de décoration usités dans les styles classiques et si, parfois, il nous donne quelques exemples tirés de l'antiquité, c'est précisément pour nous montrer que par ce procédé qui découle uniquement des sciences modernes, il se rapproche de ce que les anciens avaient découvert, par une sorte de prescience curieuse à constater. Dans son ensemble décoratif, la symétrie, par exemple, planche 28, où il représente deux hiboux opposés l'un à l'autre, il se rapproche étonnamment de certains tissus de l'époque romane découverts dans les reliquaires du haut moyen âge et qui, pour la plupart, étaient originaires de l'Orient.

M. Gauthier emploie dans ses exemples de décoration les motifs les plus inattendus tels que les grenouilles, les poissons chinois, les hippocampes et toute la série curieuse des échinodermes. J'avoue que je suis un peu plus difficilement cet auteur quand il nous présente une composition, j'aime à croire, pour cabinet de toilette, formée d'un semis de vaporisateurs avec flacon, tube en caoutchouc, poire garnie de son filet : ce sont là des hardiesses qu'on doit saluer, néanmoins, car il arrivera peut-être un jour où ce genre de décoration semblera à tout le monde des plus naturels.

Henry-René d'Allemagne.

Douze leçons de composition décorative. Exercices méthodiques. I. Cours élémentaire, par M. Joseph Gauthier, diplômé de l'État pour l'enseignement de la composition décorative, professeur à l'École régionale des Beaux-Arts de Nantes, 2e éd., in-8 oblong (19 × 28) de 96 p., avec 270 fig. et XX pl. dont 8 en couleurs. Paris, Plon-Nourrit et Cie, 1920.

Dans cet ouvrage, M. Gauthier reprend l'enseignement qu'il nous avait donné dans le volume précédent, mais en simplifiant encore. Pour bien expliquer l'ingéniosité de son système d'éducation, il donne de temps à autre des reproductions de travaux exécutés par ses élèves qui tous sont remarquables par leur ingéniosité et l'agréable association des couleurs.

M. Gauthier explique dans sa préface que sa méthode est suffisamment élastique et que les systèmes sur lesquels il s'appuie sont si naturels et si généraux, que sa méthode appliquée par des professeurs différents doit donner des résultats également différents : les travaux obtenus varient suivant le tempérament du professeur et l'impulsion qu'il sait donner à ses élèves.

Henry-René d'Allemagne.

Graphique d'histoire de l'art, par M. Joseph Gauthier, diplômé de l'État pour l'enseignement de la composition décorative, professeur à l'École des Beaux-Arts de Nantes. Nouvelle éd. In-8 (24 × 16) de VIII + 272 p., avec 665 fig. Paris, Plon-Nourrit et Cie (Prix : 9 f).

M. Gauthier ne s'est pas contenté de donner en quelque sorte une grammaire de la décoration et de la composition décorative, il a voulu fournir à ceux qui travaillent d'après ses données, la possibilité d'avoir un aperçu de tout ce qui s'était fait au point de vue de l'art un peu dans tout le monde entier. Son *Graphique d'histoire de l'art* est une sorte de cinématographe dans lequel l'auteur fait passer devant les yeux de ses élèves tout ce qui, à un titre quelconque, touche de près ou de loin à l'art proprement dit. Son travail est divisé en trois parties : l'antiquité, le moyen âge, la renaissance et les temps modernes.

Dans l'antiquité, il nous montre l'art préhistorique tel qu'on peut en avoir une idée dans les grottes à peintures de la Dordogne, puis il nous parle de l'art égyptien, chaldéen, perse, indien, phénicien, grec, étrusque, pour finir par l'art romain.

Dans la deuxième partie, M. Gauthier passe rapidement en revue l'art chrétien et l'art byzantin, puis il s'occupe des arts exotiques : russe, musulman, chinois, japonais et mexicain. Remontant aux origines de notre civilisation, il donne des exemples de l'art mérovingien, carolingien, roman et gothique.

Dans la troisième partie, l'auteur nous parle de la renaissance italienne, française, flamande, hollandaise, allemande et espagnole, puis, en quelques pages, il nous initie à l'art français et anglais des XVIIe et XVIIIe siècles et nous montre ce qui a été fait d'intéressant dans l'art français du XIXe siècle.

Pour terminer, M. Gauthier présente des tableaux synoptiques du Ier au XVIIIe siècle où il donne des exemples de ce que l'on peut encore rencontrer se rapportant à chacune de ces époques soit comme architecture, peinture, sculpture ou art décoratif. Cette nomenclature, quoique forcément très aride, peut présenter, néanmoins, un réel intérêt comme aide-mémoire.

Henry-René d'Allemagne.

Le mobilier français. Les sièges, par M. H.-M. Magne, professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers. In-4 (35 × 28) de viii + 30 p., avec XC pl. Paris, Henri Laurens, 6, rue de Tournon.

M. Marcel Magne vient de nous doter d'un remarquable album sur le mobilier français. Le travail que nous avons sous les yeux est consacré aux sièges ; il comprend trente types choisis avec beaucoup de discernement, qui commencent au moment où, pratiquement, on a établi des sièges et se terminent à l'époque contemporaine.

M. Magne n'a pas voulu retomber dans l'erreur de Viollet-le-Duc qui, dans son admirable dictionnaire du mobilier français, nous donne des exemples fort intéressants, mais l'éminent architecte a cru, par un scrupule peut-être un peu excessif, s'arrêter précisément à l'époque où les témoins commençaient à devenir abondants.

M. Magne a voulu faire œuvre à la fois d'artiste, de professeur et de vulgarisateur. Pour chacun des trente modèles qu'il a choisis avec un soin méticuleux, il nous donne trois planches : la première figurant une vue d'ensemble du sujet, la seconde donnant les détails de la construction et enfin la troisième indiquant la coupe et tous les détails techniques pouvant intéresser ceux qui voudraient reconstruire tous ces différents meubles.

L'auteur a adopté une échelle unique pour tous ces modèles, échelle qui est le cinquième de l'original. Il s'est appliqué à rechercher des modèles plus typiques par la pureté de leurs formes que par le luxe du décor. Comme il le dit du reste fort justement dans sa préface, M. Magne s'est attaché à faire ressortir l'importance qu'a présentée de tout temps l'étude des bois, des procédés d'assemblage, des sections de pièces; la concordance des conditions utilitaires de solidité, de confort et de légèreté avec les formes artistiques qui en résultent, non seulement dans les dispositions d'ensemble, mais aussi dans le détail des profils, dans l'emplacement et le caractère des sculptures, la valeur, enfin, qu'une exécution parfaite a ajoutée aux qualités de composition.

M. Magne a indiqué par son travail une admirable voie à suivre pour tous ceux qui veulent s'intéresser à la vulgarisation des arts décoratifs. Chaque meuble est caractérisé en quelque sorte par une série de remarques qu'on pourrait comparer à une fiche anthropométrique, tellement tout ce que l'auteur nous en dit est clair et précis.

Henry-René d'Allemagne.

Annuaire financier et économique du Japon (19e année), 1919, publié par le Ministère des Finances du Japon. Un vol. broché, 20×27 cm. ; 198 + 8 p., 5 pl. en couleurs et une carte en couleurs hors texte. Imprimerie impériale, Tôkyô, 1920.

Cette publication annuelle, officielle, est éditée un peu moins luxueusement qu'autrefois depuis 1917. Cependant, elle renferme toujours les mêmes renseignements que les Européens ont intérêt à posséder sur la situation de nos alliés d'Extrême-Orient.

Comme tous les annuaires précédents, celui-ci renferme principalement des

statistiques, mises souvent sous forme de tableaux ou de diagrammes colorés très clairs, correspondant surtout à l'exercice financier 1918-1919 (juillet 1918 à juin 1919) mais aussi et très fréquemment, des statistiques se rapportant à l'exercice suivant et à des exercices antérieurs qui remontent très loin en arrière, quelquefois jusqu'à 1877. Le cas échéant, des commentaires accompagnent ces renseignements statistiques. On peut ainsi faire des comparaisons utiles et en déduire l'évolution de certains mouvements économiques ou sociaux.

Le présent annuaire présente cependant un intérêt particulier : il concerne l'exercice ou plutôt les exercices financiers qui ont suivi de près la fin des hostilités, et on y perçoit très nettement déjà les premiers effets du conflit mondial et de sa cessation. Ainsi, le total des dépenses, ordinaires et extraordinaires, qui, au budget de 1916-17, atteignait 600 millions de yen (1) (chiffre antérieur le plus fort : 650 millions, en 1914-15), a crû progressivement depuis, pour dépasser 1.060 millions de yen en 1919-20. Les impôts payés par tête d'habitant sont passés progressivement de 6 yen en 1915-16 à près de 10 yen en 1919-20. Néanmoins, la dette nationale de l'Empire non remboursée a peu augmenté : elle reste à moins de 2.600 millions de yen au 31 mars 1919, oscillant depuis 1920 autour de 2.500 millions. Les dépôts à la Caisse d'Épargne postale, institution assez récente, se sont accrus de 196 millions de yen (31 mars 1915) à 580 millions de yen (31 mars 1919).

La comparaison de ces groupes de chiffres et le rendement des impôts, très supérieur aux prévisions budgétaires, permettent de se rendre compte du bien-être matériel général qu'a apporté la guerre dans le pays. Toutefois, on verra plus loin qu'il y a quelques taches noires à ce trop beau tableau.

Les exportations, portant pour plus des trois quarts en 1918 sur des articles manufacturés ou des matières premières demi-ouvrées, se sont accrues, pendant la guerre, dans des proportions formidables : moins de 600 millions de yen en 1914, 1.960 millions en 1918!

L'ouvrage comprend les chapitres suivants :

I. — Tableaux et statistiques géographiques et démographiques (En 1918, on compte 57 millions d'habitants dans le Vieux-Japon; 17,5 millions en Corée; 3,7 à Formose; 79.000 dans la Sakhaline japonaise);

II. — Finances;

III. — Agriculture, industrie, commerce;

IV. — Banque et marché monétaire;

V. — Communications;

VI. — Corée;

VII. — Trois appendices : *a*) Effets de la guerre sur le marché économique du Japon;

b) Situation financière et économique en 1919, comparée à celle d'avant la guerre;

c) Principales mesures législatives en matière financière ou économique promulguées depuis le commencement de la guerre.

Nous citerons quelques passages de cet annuaire. On y verra que, s'il y a eu

(1) Le yen valait : 2,583 f avant la guerre; en moyenne 2,95 f en 1916 et en 1917; et 2,97 (maximum 3,01 f) en 1918.

accroissement de prospérité dans l'ensemble du pays, même au Japon, le peuple a souffert de la guerre et des bouleversements économiques qui en ont été la conséquence.

Le capital global engagé dans l'industrie japonaise s'arrêtait à 700 millions de yen à la fin de 1913. Depuis le début de la guerre jusqu'à la fin de 1918, les capitaux nouvellement engagés dans les entreprises de toutes sortes ont atteint le total énorme de 5.200 millions de yen (manufactures, 34 p. 100; affaires commerciales, 21 p. 100; mines, 11 p. 100; banques, 10 p. 100; chantiers maritimes, 8 p. 100). La situation des industries manufacturières est caractérisée par la naissance ou l'épanouissement soudain : de la fabrication des produits chimiques; de la métallurgie; des industries textiles; des constructions de navires. La valeur des produits de ces industries nouvelles est encore inconnue pour 1918, mais elle atteignait dès 1917 environ 3.500 millions de yen, soit plus du double de ce qu'elle était avant la guerre.

. . . .

En automne 1918 cependant, à mesure que le front allemand fléchissait, et lorsque l'armistice fut enfin signé, plusieurs industries dont la guerre avait été le stimulant (sidérurgie, produits chimiques, constructions navales notamment) ressentirent assez durement le contre-coup de cet arrêt subit; toutefois, la circonspection vigilante, qui était de règle depuis l'année précédente, atténua en grande partie, les conséquences d'un tel revirement, et préserva l'industrie de toute dislocation sérieuse.

. . . .

Au Japon, la nouvelle d'une demande d'armistice, imploré par l'Allemagne, fut accueillie avec joie dans les sphères de l'industrie et du commerce qui présentèrent alors un aspect très animé; mais, bientôt, les entreprises créées pendant la guerre subirent une dépression marquée, surtout celles qui devaient leur existence aux conditions anormales du temps de guerre. Quant au marché financier, il garda une attitude de réserve prudente, et diverses industries prirent aussi les précautions convenables, de sorte que l'année s'acheva sans que l'équilibre ordinaire eût été troublé.

. . . .

La situation économique intérieure du pays si prospère et la demande de produits de toutes sortes croissant toujours de la part des Alliés, les prix montèrent rapidement, celui du riz en particulier, avec ce résultat que la capacité d'achat des populations de la campagne alla toujours croissant et, par suite, activa le commerce. Par contre, les plaintes au sujet de la difficulté de vivre se multipliaient en même temps, si bien qu'au mois d'août, des émeutes éclatèrent sur différents points du territoire, à commencer par deux ou trois grandes villes.... Le chiffre indicateur de la moyenne des prix à Tôkyô, en 1918, était 259 contre 196 en 1917.

Afin de modérer la hausse anormale des prix, le Gouvernement interdit, en février, l'exportation du riz, du *mugi* (orge, blé, seigle et avoine) et de la farine; prohiba, en juin, la réexportation du riz étranger, et, un peu plus tard, soumit cette céréale au contrôle administratif. En juin, il ajouta les engrais chimiques à la liste des produits visés par l'Ordonnance contre les Accapareurs, rendue l'année précédente. En vertu de la même ordonnance, il adressa des avertissements réitérés à certains marchands fort soupçonnés d'accaparement de riz. En même temps, il ferma plusieurs fois la Bourse du Riz ou restreignit ses transactions dans certaines limites. Néanmoins, la tendance à la hausse des prix dans le monde entier rendit ces mesures inefficaces. Le riz, par exemple, continua à monter, circonstance qui, en août, donna lieu à ce qu'on a appelé les « émeutes du riz ». Immédiatement, le Gouvernement promulga d'urgence une ordonnance impériale décrétant la réquisition des céréales, et mit à part un crédit de 10 millions de yen qui permettait de vendre du riz à prix réduit. Pour faciliter ces arrangements, l'Empereur accorda un don de 3 millions de yen au fonds de secours, et ce

généreux exemple fut suivi par un bon nombre de particuliers riches qui contribuèrent pour leur part à atteindre le même but. Le riz fut mis en vente à prix réduit en divers endroits, et cette mesure eut pour effet de rendre la situation moins tendue et de rétablir la tranquillité. La Bourse du Riz refusa cependant d'abaisser ses prix d'une façon appréciable

Bien que tout cela soit exprimé en termes mesurés, que l'Annuaire soit muet sur certains faits comme les grèves et le chômage, on voit que l'Extrême-Orient connaît aussi nos misères, nos stockeurs, nos mercantis et nos nouveaux riches (un mot nouveau intraduisible, créé pour la circonstance, *narikin*, désigne à la fois ces deux derniers).

L'Annuaire de 1920 ne manquera pas de signaler des faits analogues à ceux qui viennent d'être cités, car c'est au Japon qu'ont commencé, tout d'abord, la vague de baisse qui, actuellement, déferle sur le monde et la crise économique qui en est la conséquence.

E. L.

La chimie à la portée de tous, par L. Hickisch, chimiste industriel. Un vol. broché (13,5×21 cm), 446 p., 43 fig. Dunod, éd., Paris, 1920. Prix 24 f.

L'auteur de ce curieux ouvrage, lui donne comme sous-titre : *Notions de chimie générale et de chimie pure. Les applications de la chimie.* Il regrette que les questions scientifiques intéressent peu le grand public en France et que ce public ignore presque toujours nos plus illustres savants et leurs travaux, « honneur de l'humanité et dont les découvertes ont contribué au bien-être général ». Le but de son livre est de « mettre à la portée de tous la chimie dans ses manifestations naturelles et dans ses nombreuses applications industrielles ». L'auteur se défend cependant « d'enseigner la chimie ni de décrire ses applications en détail. Il se propose simplement d'en faire comprendre les principes et de montrer l'enchaînement des résultats acquis par le développement et l'application de cette science ». Il y a assez bien réussi.

Le livre, écrit dans un style alerte et agréable, est conçu en dehors de tout programme. On y trouve peu de descriptions d'appareils, de formules, de réactions et de chiffres, rien de ce qui rappelle le laboratoire sauf une vue photographique, mais il est plein d'idées, exposées avec clarté, et d'explications sur des grands faits bien enchaînés, accompagnés de quelques statistiques suggestives qui donnent une idée nette de l'importance des industries chimiques.

Les figures sont presque exclusivement des vues photographiques d'ateliers ou d'usines.

La première partie du livre est une sorte d'initiation à la chimie, contenant le minimum de ce qu'il faut en savoir pour comprendre la suite du livre : *a*) Généralités, lois, théories, principes (48 pages); *b*) la chimie minérale (76 pages); *c*) la chimie organique, avec des formules de constitution montrant les groupements fonctionnels et même stéréochimiques (26 pages); *d*) histoire de la chimie (12 pages).

La seconde partie, plus développée que la première, passe en revue : *a*) la grande industrie chimique minérale (acides principaux, sels alcalins usuels, air liquide), la métallurgie, les matériaux de construction, les combustibles ; *b*) les principales industries agricoles, alimentaires et textiles, la tannerie, les matières colorantes,

les pigments et la teinture, enfin diverses applications de la chimie organique : explosifs, produits pharmaceutiques, parfums, photographie.

E. L.

Elementi di Siderurgia e di Tecnologia meccanica, par ALFRED GALASSINI; professeur de Technologie mécanique à l'École polytechnique et à l'Institut technique de Turin. Un vol. broché (26 × 17 cm), 669 + XIII p., 560 fig. Società tipografico-editrice nazionale, Turin, 1920. Prix : 50 lires.

Ce traité renferme les matières enseignées par l'auteur, à l'École polytechnique de Turin, aux jeunes gens qui deviendront des constructeurs-mécaniciens. Elles sont donc la base essentielle des connaissances plus développées qu'ils acquerront dans la suite, ce qui explique l'association dans l'ouvrage de la sidérurgie, du travail des métaux et même des bois (150 pages), ce que n'indique pas le titre.

A vrai dire, l'auteur ne donne que les notions indispensables de la métallurgie du fer (102 pages), et n'étudie les métaux autres que le fer et leurs principaux alliages que dans celles de leurs propriétés qui sont utilisées industriellement (20 pages). La majeure partie (351 pages) de l'ouvrage traite donc du travail des métaux.

Les figures, dessinées par l'auteur, sont toutes au trait, souvent schématiques et toujours claires. Elles présentent une autre particularité : des cotes donnant les dimensions principales, ce qui indique l'ordre de grandeur des outils ou appareils industriels, précaution qui n'est pas inutile pour des élèves n'appartenant pas nécessairement à une famille d'industriels et n'ayant pas toujours la possibilité de tout voir lors des visites d'usines.

Une grande place est donnée aux travaux d'atelier ; l'auteur y montre bien les phases successives par lesquelles passe une pièce au cours de son élaboration.

E. L

OUVRAGES REÇUS A LA BIBLIOTHÈQUE
EN DÉCEMBRE 1920

Gauthier (Joseph) et Capelle (Louis). — **Traité de composition décorative.** In-8 (24 × 16) de v + 398 p., 865 fig., LIII pl. hors texte dont une en couleurs. Paris, Librairie Plon, 1920. **16146**

Gauthier (Joseph). — **Graphique d'histoire de l'art.** Nouv. éd. In-8 (24 × 16) de viii + 272 p., 665 fig. **Bibliographie**, p. 233-239. Paris, Plon-Nourrit et Cie. **16147**

Gauthier (Joseph). — **Douze leçons de composition décorative.** Exercices méthodiques. 2e éd. I : **Cours élémentaire.** In-12 oblong (19 × 28) de 96 p., 270 fig., XX pl. dont 8 en couleurs. **Bibliographie**, p. 94. Paris, Plon-Nourrit et Cie, 1920. **16148**

Magne (H.-M.). — **Le mobilier français. Les sièges.** In-4 (35 × 28) de viii + 30 p., XC pl. Paris, Henri Laurens. **16149**

Aron (André). — **La crise économique en Angleterre (1919-1920).** (*Comité franco-britannique*). In-12 (19 × 12) de 174 p. Paris, Plon-Nourrit et Cie, 1920. **16150**

Willotte (H.). — **Lois mathématiques de la résistance des fluides. Théorie de l'hélice** (*Encyclopédie scientifique*), de 302 p., 10 fig. **Bibliographie**, p. 293-295. Paris, Gaston Doin, 1921. **16151**

Jacob (L.). — **La résistance de l'air et l'expérience. Les conséquences** (*Encyclopédie scientifique*). Tome I, de 316 p., 62 fig.; Tome II, de 272 p., fig. 63 à 83. Paris, Gaston Doin, 1921. **16152-3**

Royaume de Belgique. Ministère de l'Industrie, du Travail et du Ravitaillement. — **Le travail industriel aux États-Unis.** Rapports de la Mission d'Enquête. In-8 (25 × 16). Tome I, de 487 p.; Tome II, de 896 p. Bruxelles, Imp. A. Lesigne, 1920. **16154-5**

Villavecchia (V.). — **Traité de chimie analytique appliquée.** Méthodes et règles pour l'examen des principaux produits industriels et alimentaires. Traduit et annoté par P. Nicolardot. In-8 (25 × 16). Tome II, de xi + 640 p., 107 fig. Paris, Masson et Cie, 1921. **16156**

Paucot (René). — **Le rôle des sciences dans l'éducation.** In-12 (18 × 12) de 255 p. Paris, Librairie Armand Colin, 1920. **16157**

Bertrand de Fontviolant. — **Les méthodes modernes de la résistance des matériaux.** 2e éd. In-8 (25 × 16) de 104 p., 11 fig. Paris, Gauthier-Villars et Cie, 1920. **16158**

Courau (R.). — **Technique des pétroles.** In-12 (19 × 13) de 406 p., XIX pl. (contenant 152 fig.). **Bibliographie**, p. 395-397. Paris, Gaston Doin, 1921. **16159**

Martel (L.). — **La technique du mineur.** In-8 (25 × 16). Tome I : **Notions générales, abatage, soutènement**, de 352 p., 336 fig. **Bibliographies**, p. 61-62, 80-81, 89, 92, 97, 120, 132, 153, 193, 198, 204, 229, 246, 254, 267, 285-286, 315-316, 336-337, 341-342, 346; Tome II : **Creusement des galeries et des tunnels, fonçage des puits en tous terrains**, de 198 p., fig. 337 à 455. **Bibliographies**, p. 19, 38-39, 65-66, 76, 85, 114-115, 127, 142-144, 165-166, 187-188. Alais, chez l'auteur, et Paris, Dunod, 1920. **16160-1**

Gutjahr (Ed.). — **L'organisation rationnelle des entreprises commerciales.** In-8 (24 × 16) de xv + 246 p. **Bibliographie**, p. 245-246. Paris, Dunod, 1920. **16162**

Simon (René). — **La co-association du capital et du travail en Angleterre.** L'œuvre de Lord Leverhulme : La co-association à Port Sunlight; avec une annexe sur l'Intro-

duction de la co-association en France, par F.-H. LAVANCHY-CLARKE. In-4 (28 × 22) de 128 p., XIV pl. Marseille, Imp. du « Sémaphore », Barlatier, 1920. **16163**

GAGES (Général L.). — **Cours d'organisation des fabrications mécaniques** professé à l'*École spéciale des Travaux publics, du Bâtiment et de l'Industrie*. In-8 (22 × 17). Livre I : **Services de préparation**, de 478 p., 401 fig.; Livre II : **Montage et exécution des fabrications mécaniques**, de 490 p., fig. Paris, École spéciale des Travaux publics, 1920. **16164-5**

GAGES (Général L.). — **Cours de métallurgie** professé à l'*École spéciale des Travaux publics, du Bâtiment et de l'Industrie*. In-8 (25 × 17). Livre III : **Travail des fers et des aciers**. 2e éd., de 431 p., 389 fig.; Livre IV : **Essais mécaniques des fontes, des aciers et des fers**. 2e éd., de 320 p., 157 fig. Paris, Librairie de l'Enseignement technique, 1919, 1920. **16166-7**

HAUTE COMMISSION INTERALLIÉE DES TERRITOIRES RHÉNANS. HAUT COMMISSARIAT DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE. Service économique. —**Nomenclature des principales usines de la rive gauche du Rhin** (Sarre et Alsace-Lorraine exceptées). In-8 (22 × 14) de 271 p. Crefeld, Imp. Heinr. Halfmann. **16168**

DEPARTMENT OF SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH. ADVISORY COMMITTEE. — **Report of the Lubricant and Lubrication Isnquiry Committee**. In-8 (24 × 15) de 126 p., XXVIII pl. London, 16-18 Queen Street, Westminster, 1920. **16169**

*
* *

COMPAGNIE OCCIDENTALE DES PRODUITS DU PÉTROLE. — **De l'emploi des combustibles liquides**. In-8 (26 × 20) de 36 p., IV pl. Paris, H. Desforges. **Pièce 12579**

LARSEN (ABSALON). — **La découverte de l'électromagnétisme faite en 1820 par J.-C. Œrsted**. In-8 (25 × 19) de 46 p. Copenhague, 1920. **Pièce 12580**

BATARDON (LOUIS). — **La contribution extraordinaire sur les bénéfices de guerre**. Evaluation des stocks commerciaux et industriels au 30 juin 1920. In-12 (18 × 11) de 63 p. Paris, G. et M. Ravisse, 1920. **Pièce 12581**

COMITÉ CENTRAL D'ÉTUDES ET DE DÉFENSE FISCALE. — **Application de l'impôt sur le chiffre d'affaires**. In-8 (21 × 13) de 10 p. Paris, 21 rue Croix-des-Petits-Champs, 1920. **Pièce 12582**

SOCIÉTÉ GÉNÉRALE D'ÉTUDES ET DE TRAVAUX TOPOGRAPHIQUES. — **Études et travaux géodésiques et topographiques**. Notice explicative. In-8 (24 × 15) de 16 p. Paris, 148, rue de Grenelle. **Pièce 12583**

SCHRADER (F.). — **Notice sur l'emploi du tachéographe**. In-8 (21 × 13) de 20 p., 5 fig. Paris, Société générale d'Études et de Travaux topographiques, 148, rue de Grenelle. **Pièce 12584**

COMPAGNIE ALGÉRIENNE. — **Rapports du Conseil d'Administration. Rapport des Commissaires**. Résolutions votées par les assemblées générales ordinaires et extraordinaires du 27 mars 1920. **Exercice 1919**. In-4 (27 × 21) de 32 p. Paris, Imp. Chaix, 1920. **Pièce 12585**

Enquête sur les prix de détail en Belgique. Construction d'un index alimentaire pondéré (*Revue du Travail* (*Belgique*), 15-31 octobre 1920, 20 p.). **Pièce 12586**

CEMENT GUN CO. — **Report showing Results of Tests made on Gunite Slabs**, together with working tables and safe load tables established through these tests. In-8 (23 × 15) de 30 p. Allentown, Pa. **Pièce 12587**

MEEKER (ROYAL). — **The Economics of Child Welfare**. (*U. S. Department of Labor. Bureau of Labor Statistics*). In-8 (24 × 15) de 5 p. Washington, 1919. **Pièce 12588**

Engineers Unite. High spots in the Washington organizing Conference of the Federated American Engineering Societies, June 3 and 4, 1920, as reported and interpreted by the Editors of the Technical Press. In-4 (30 × 21) de 64 p. New York. Mc Graw-Hill Co. **Pièce 12589**

*
* *

Agenda Lumière-Jougla 1921. Paris, Union photographique industrielle (Établissements Lumière et Jougla réunis), 82, rue de Rivoli. **Pér. 286**

SYNDICAT DES MÉCANICIENS, CHAUDRONNIERS ET FONDEURS DE FRANCE. — **Annuaire 1920**. Paris, 94, rue d'Amsterdam. **Pér. 431**

AMERICAN INSTITUTE OF MINING AND METALLURGICAL ENGINEERS. — **Transactions**. Vol. LXII. New York, 1920. **Pér. 201**

COMITÉ INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES. — **Procès-verbaux des séances**. 2e série. Tome VIII. Session de 1920. Paris, Gauthier-Villars et Cie, 1920. **Pér. 208**

ROYAUME DE BELGIQUE. MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE, DU TRAVAIL ET DU RAVITAILLEMENT. INSPECTION DU TRAVAIL ET SERVICE DE HAUTE SURVEILLANCE DES ÉTABLISSEMENTS DANGEREUX, INSALUBRES ET INCOMMODES. — **Rapports annuels de l'Inspection du Travail**. 20e année, **1919**. Bruxelles, J. Lebègue et Cie; Albert Dewit, 1920. **Pér. 277**

U. S. BUREAU OF LABOR STATISTICS. — **Bulletins** nos **255, 256**. Washington, 1919. **Pér. 35**

COLLEGE OF SCIENCE. IMPERIAL UNIVERSITY OF TÔKYÔ. — **Journal**. Vol. XLI, art. 6. — Vol. XLII, art. 4, 5, 6. **Pér. 441**

INSTITUTION OF NAVAL ARCHITECTS. — **Transactions**. Vol. LXII, **1920**. London, 1920. **Pér. 222**

L'agent général, gérant,
E. LEMAIRE.

Coulommiers. — Imp. PAUL BRODARD.

BULLETIN

DE

LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT

POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

COMITÉ D'AGRICULTURE

Rapport présenté par M. L. LINDET, au nom du Comité d'Agriculture, sur une *machine continue à mouler et à démouler le chocolat* présentée par M. E. SAVY et construite par MM. A. Savy, Jeanjean et Cie.

M. E. Savy habitant à Paris, 5, rue Denis-Poisson (17e), a présenté à la Société d'Encouragement (1), au nom de la Société anonyme des anciens Établissements A. Savy, Jeanjean et Cie, avenue Dubonnet, à Courbevoie (Seine), un appareil qui, par son importance et son automaticité, rappelle la machine à papier; il est en effet destiné à grouper, pour la fabrication du chocolat, plusieurs engins dont les actions, d'ordinaire, se succèdent, entraînant bien entendu, entre chacune d'elles, une perte de temps et une dépense de main-d'œuvre : c'est l'étuve qui maintient la pâte à la température déterminée où elle va être moulée; c'est la mouleuse, qui reçoit le chocolat en pâte molle; la tapoteuse, qui égalise et comprime la pâte dans les moules; le refroidisseur, qui la solidifie; la démouleuse, puis la réchauffeuse des moules, qui évitent que la pâte, introduite de nouveau dans ceux-ci, ne soit saisie par le froid. Réunir en une seule machine, à action continue, le travail de ces différents engins, tel a été le but de la Société

(1) Voir le *Bulletin* de janvier 1921, p. 155 (Compte rendu de l'assemblée générale du 18 décembre 1920).

A. Savy, Jeanjean et Cie, et tel a été le résultat, puisque aujourd'hui 200 de ces machines fonctionnent dans différents pays.

La machine a 25 m de longueur.

Elle commence par un thermostat qui maintient la pâte à une température déterminée, fixée d'après la nature du chocolat que l'on veut mouler; la pâte est étalée à la surface d'un cylindre cannelé refroidi à l'intérieur et à l'extérieur par un courant d'air frigorifié; un régulateur de température permet d'actionner électriquement la vanne d'aspiration. La pâte est dirigée, par une vis d'Archimède, vers la mouleuse, dont la construction diffère, suivant que l'on veut mouler des pâtes claires ou des pâtes épaisses; dans le premier cas, on fait arriver la pâte claire par une trémie, dont le fond est constitué par la série de moules qui, entraînés sur une toile sans fin, viennent se présenter tour à tour, et se dégagent de la trémie, pleins et arasés; dans l'autre cas, la pâte épaisse est débitée par une peseuse boudineuse, et, sous un poids déterminé, correspondant au volume du moule, tombe dans la série de moules que la toile sans fin entraîne et s'y étale par le tapotement que ceux-ci vont subir.

A partir de cet endroit la machine va être essentiellement formée par trois étages superposés de toiles sans fin.

Le premier étage est divisé en deux parties; l'une est une toile sans fin, animée de secousses de haut en bas, dont l'action permet à la pâte de se tasser, de remplir les moules et d'expulser l'air emprisonné; l'autre partie reçoit l'action d'un courant d'air, refroidi au-dessous de la toile par des tuyaux dans lesquels circule le liquide incongelable de la machine à glace. Après avoir passé au-dessus de la partie la plus froide, la toile gagne l'extrémité de l'appareil, où elle se réchauffe légèrement; là, une femme ou un enfant enlève les moules au fur et à mesure qu'ils arrivent à bout de course. Le préposé à ce poste reprend les moules pleins et les place sur la toile sans fin qui est immédiatement au-dessus, et qui circule en sens inverse de la toile dont il vient d'être question; des femmes, juxtaposées devant cette toile sans fin, reprennent les moules, démoulent le chocolat, pour le passer automatiquement aux plieuses et, de là, au magasin de vente, tandis qu'elles déposent les moules vides sur la troisième toile sans fin, marchant dans le même sens que la seconde, et qui les ramène à leur

point de départ, c'est-à-dire à la mouleuse; mais avant que ceux-ci y parviennent, ils passent à l'intérieur d'un couloir, traversé par un courant d'air qui, lui-même, s'est échauffé sur un petit radiateur à vapeur, afin que, comme il a été dit plus haut, la pâte chaude ne tombe pas brusquement sur la surface encore trop froide des moules métalliques.

L'auto-mouleuse démouleuse Savy, Jeanjean et C[ie] accomplit très régulièrement le travail qu'on lui demande; elle l'accomplit dans des conditions de propreté et d'asepsie bien intéressantes quand il s'agit de la fabrication des matières alimentaires; elle supprime 75 p. 100, dit-on, de la main-d'œuvre et mérite, à ce titre, d'être connue.

Notre Comité d'Agriculture, à qui est réservé l'examen des questions alimentaires, vous propose de remercier la Société A. Savy, Jeanjean et C[ie] et d'insérer le présent rapport au Bulletin.

Le Rapporteur,
L. Lindet.

Lu et approuvé en séance publique le 12 février 1921.

COMITÉ DES ARTS MÉCANIQUES

Rapport présenté par M. Louis Salomon, au nom du Comité des Arts mécaniques, sur une *serrure, avec loqueteau intérieur, pour les portières latérales des voitures de chemins de fer*, imaginée par M. E. Birlé.

Messieurs,

M. E. Birlé, Inspecteur de la Traction des Chemins de fer du Nord, 105, rue de Prony, à Paris (17e), a soumis à l'appréciation de la Société d'Encouragement une serrure, avec loqueteau intérieur, pour les portières latérales des voitures de chemins de fer.

La question de la fermeture des portières se présente depuis quelques années dans de nouvelles conditions résultant, d'une part, de l'augmentation du nombre des voyageurs transportés par train (et comme conséquence de l'accroissement de la longueur des trains), d'autre part, de la convenance d'accélérer le service, en permettant aux voyageurs de manœuvrer les appareils de fermeture sans être obligés de sortir le haut du corps hors des fenêtres.

Au début de l'exploitation des chemins de fer, en France comme en Angleterre, les voyageurs étaient enfermés dans leur compartiment. L'expérience prouva bientôt que cet emprisonnement aggravait les conséquences des accidents et l'on adopta le mode de fermeture qui est encore actuellement appliqué à la presque totalité de nos voitures à portières latérales. Ce mode consiste en deux appareils, une serrure, soit à abattant, soit à pêne à ressort, uniquement manœuvrable par une poignée extérieure, et un loqueteau, verrou pivotant, monté extérieurement à la portière, à 0,50 m au plus en contre-bas de la fenêtre afin que les voyageurs puissent l'atteindre et le manœuvrer.

Pour s'assurer que les portières sont bien fermées, l'agent de train doit constater que les poignées des serrures et les barres des loqueteaux sont toutes dans la position horizontale.

Or, il arrive qu'un voyageur, peu d'instants avant le démarrage du train, ouvre une portière, soit pour descendre de la voiture, soit pour chercher une place, et néglige de refermer la serrure et le loqueteau.

Pour permettre aux voyageurs de participer au contrôle de la fermeture, sans devoir se pencher hors des fenêtres, quelques réseaux ont, à titre d'essai, monté sur les axes des serrures et des loqueteaux des secteurs portant les inscriptions « ouvert » et « fermé » qui apparaissent dans le compartiment. Cette disposition, n'apportant qu'une solution incomplète, ne s'est pas développée.

Comme il importe sur les lignes de banlieue, à intense trafic, d'activer les mouvements des voyageurs, les réseaux ont en général été autorisés à supprimer les loqueteaux sur les voitures spécialisées à ce trafic. Pendant les dernières années précédant la guerre, divers réseaux ont fait des applications plus ou moins étendues de serrures et de loqueteaux manœuvrables par des poignées intérieures venant se placer vis-à-vis d'inscriptions « ouvert » et « fermé » selon la situation des appareils. Il est incontestable que la possibilité donnée aux voyageurs d'ouvrir les portières par des poignées intérieures crée un nouveau danger, qui est celui de l'ouverture des portières par des enfants insuffisamment surveillés. Pour prévenir un tel danger et celui résultant d'une fermeture incomplète de la portière, certaines serrures sont pourvues de crans d'arrêt qui retiennent le pêne de la serrure après l'entre-bâillement de la portière.

Ce court historique nous a paru nécessaire pour préciser les circonstances dans lesquelles se présente l'appareil de fermeture imaginé par M. Birlé.

M. Birlé a groupé dans une même boîte métallique une serrure et un loqueteau.

La serrure consiste en un pêne à bec de cane C, constamment maintenu saillant (par conséquent dans la position de fermeture), par un ressort à boudin E suffisamment énergique pour vaincre toutes les résistances passives des organes de commande du pêne et les frottements de celui-ci lors de sa pénétration dans la gâche V. Le pêne est rigidement relié à la poignée extérieure S par des éléments d'engrenages faisant corps avec l'axe R de la poignée T et avec une douille M, montée folle sur un axe intermédiaire L, une dent U portée par cette douille pénétrant dans une entaille D pratiquée dans le pêne C.

Avec cette disposition, tout se passe comme si une roue dentée, calée sur l'axe de la poignée extérieure, engrenait avec une deuxième roue dentée montée folle sur l'axe intermédiaire, cette seconde roue commandant une crémaillère faisant corps avec le pêne. Les organes de commande étant tracés de telle sorte que le pêne étant engagé à fond dans sa gâche, la poignée extérieure est horizontale, la simple vue de cette position assure à l'agent de train que la serrure proprement dite est bien fermée. Pour permettre aux

voyageurs d'ouvrir la serrure de l'intérieur du compartiment, une poignée est fixée sur l'arbre intermédiaire L qui agit par des butées L' sur la douille folle M à dent d'engrenage U. Il faut *soulever* la poignée intérieure pour dégager le pêne C de la gâche V. Dès que le dégagement est complet, la poignée est arrêtée dans son mouvement, afin qu'intervienne, pour la sécurité, la manœuvre du loqueteau G.

A l'extérieur de la boîte métallique A, dans la voiture, un loqueteau G pivote autour d'un troisième axe F, parallèle à l'axe intermédiaire L. Ce loqueteau est constamment maintenu horizontal, c'est-à-dire dans la position

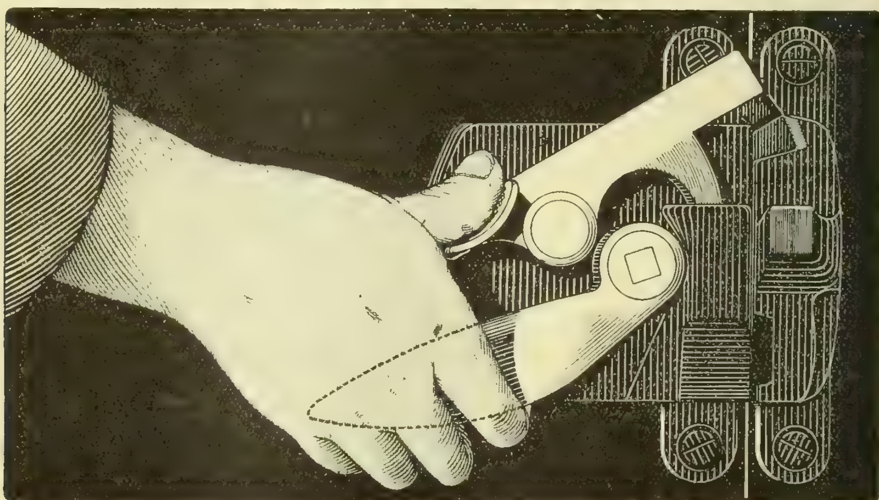


Fig. 1. — La manœuvre pour ouvrir la serrure-loqueteau de M. Birlé.

de fermeture, par la poussée d'un ressort à lame I' agissant sur un talon I de l'axe F du loqueteau G. Cette poussée appuie le loqueteau contre la fente d'une encoche en saillie O sur la boîte A de la serrure.

L'axe F du loqueteau G est pourvu d'une came I sur laquelle peut agir une dent H portée par la douille mobile M de l'axe intermédiaire L. La came et la dent ont des formes telles qu'en actionnant la poignée extérieure, il est possible d'obtenir le soulèvement complet du loqueteau en même temps que la rentrée totale du pêne et ainsi d'obtenir, par un seul mouvement, l'ouverture de la portière, d'où accélération du service des agents. Comme nous l'avons déjà dit, le soulèvement de la poignée intérieure est arrêté lorsque le pêne a dégagé la gâche, mais avant le soulèvement complet du loqueteau. Pour obtenir ce résultat, il faut que le voyageur, en même temps qu'il soulève, par les doigts, la poignée intérieure, appuie avec le pouce, sur un poussoir G' formant prolongement du loqueteau.

La poignée intérieure étant suffisamment écartée du poussoir, la main d'un enfant sera trop petite pour manœuvrer simultanément ces deux organes, en admettant que l'enfant soit assez fort pour vaincre les résistances des deux ressorts E et I'.

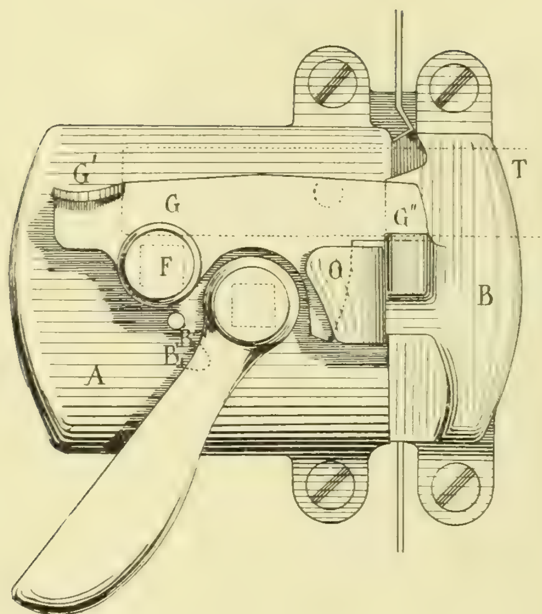
Les dispositions adoptées pour la gâche apportent des compléments de sécurité.

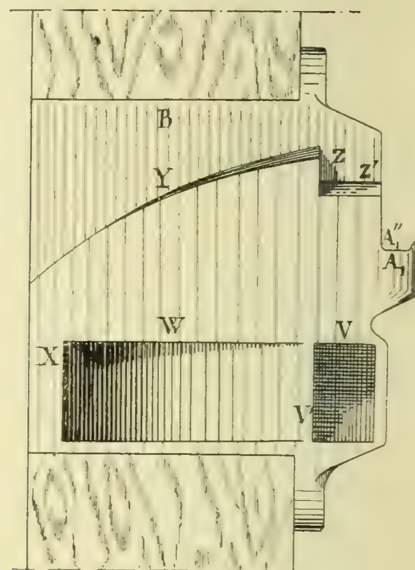
La gâche de la serrure présente (fig. 3), derrière sa face extérieure, un cran de sûreté X, à la suite duquel un plan incliné W amène le pêne à bec-de-cane dans son logement V. La gâche présente en outre, contre sa face latérale, une rampe Y, sur laquelle vient glisser et se soulever le nez G'' du loqueteau. Celui-ci, parvenu à l'extrémité de la rampe, tombe dans une première encoche Z, qui forme cran d'arrêt et donne un premier verrouillage. La portière poursuivant son mouvement de fermeture, et avant que le pêne n'ait pu pénétrer dans son logement, le nez du loqueteau tombe dans une seconde encoche A_1'' qui détermine sa position définitive de fermeture. Le montage des pièces est fait de telle sorte que, dans la position de fermeture, le pêne porte contre la paroi externe V' de son logement tandis que le nez du loqueteau ne touche pas la paroi externe de son encoche. Cette disposition évite que, dans le cas de rupture de son ressort à lame I', le loqueteau puisse être soulevé par l'effet des trépidations de la voiture.

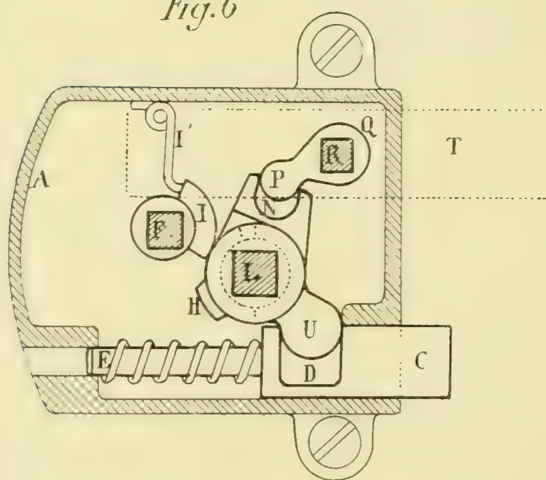
Lorsque l'ouverture de la portière est produite de l'extérieur, le pivotement de la poignée T amène d'abord le pêne au ras de son logement dans la boîte de serrure et soulève le loqueteau de façon à le dégager de la seconde encoche A_1''. La porte est ainsi entre-bâillée. La prolongation du mouvement de la poignée produit un nouveau soulèvement du loqueteau et dégage celui-ci de sa première encoche Z (ou cran de sûreté). L'ouverture complète de la portière est alors obtenue.

Lorsque la portière est ouverte de l'intérieur, le soulèvement de la poignée intérieure, sous l'action des doigts, amène le pêne au ras de son logement et dégage le nez du loqueteau G'' de sa deuxième encoche A_1''; à ce moment, la poignée est arrêtée par la butée B'' que nous avons signalée, et la portière est seulement entre-bâillée, le loqueteau venant frapper contre la première encoche Z (ou cran de sûreté). Il faut appuyer le pouce sur le poussoir G' faisant corps avec le loqueteau pour compléter le mouvement de celui-ci et produire le dégagement de la première encoche et l'ouverture de la portière. Une seule main d'adulte est suffisante, mais nécessaire, pour produire simultanément le soulèvement de la poignée intérieure et l'abaissement du poussoir.

Lorsque la portière est ouverte et que les poignées ainsi que le loqueteau







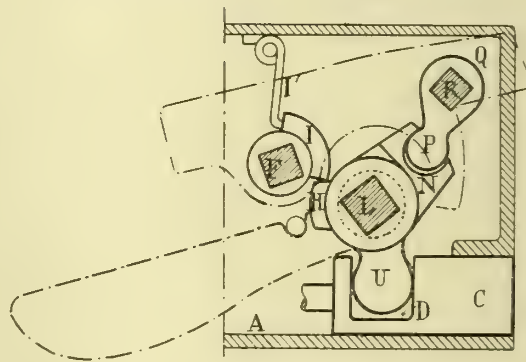


Fig. 2. à 10. — Détails de constructio

Fig. 2. Vue intérieure, serrure fermée; — Fig. 3. Vue latérale de la gâche; — Fig. 4. Vue extérieure, serrure fermée; — Fig fermés; — Fig. 7. Coupe longitudinale, pêne ouvert, loqueteau fermé; — Fig. 8. Coupe longitudinale, pêne et loque rieure et servant de came d'entraînement.

A, Boite; — B, Gâche; — C, Pêne; — D. Entaille; — E, Ressort à boudin: — F. Axe du loqueteau; — G, Loqueteau; — H, Dent; — I. Talo retenue; — P, Doigt arrondi; — Q, Bras; — R, Axe solidaire de S; — S, Axe de la poignée de manœuvre T; — T, Poignée de manœu de la gâche; — Z, Encoche; — A''_1, Deuxième encoche; — B'', Butée.

Fig. 4

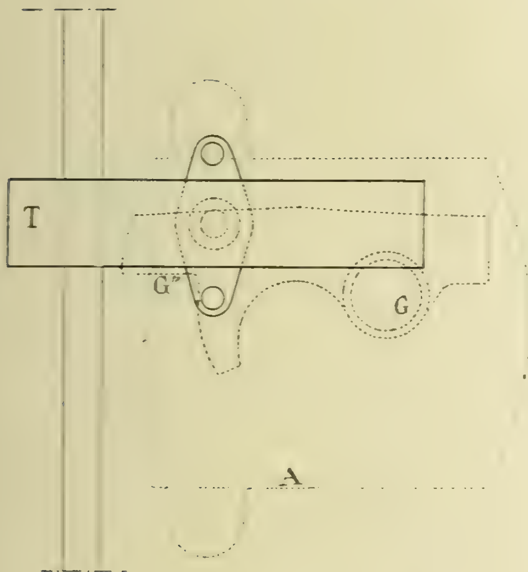


Fig. 5

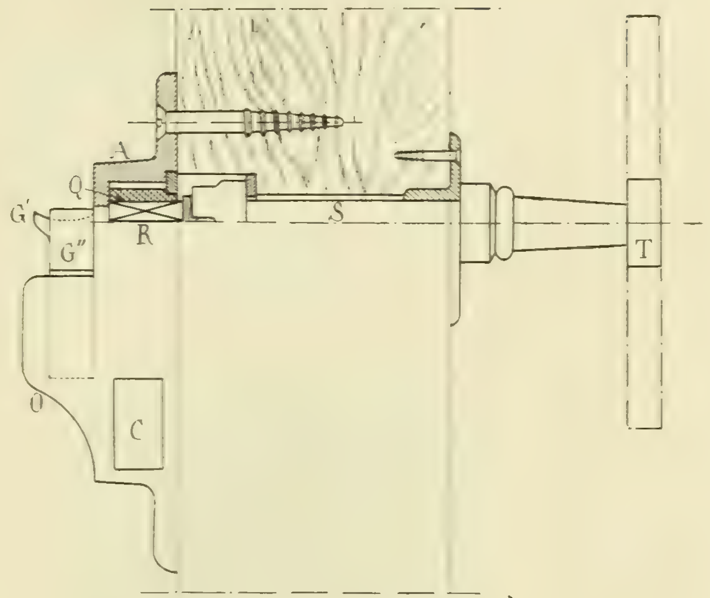


Fig. 8

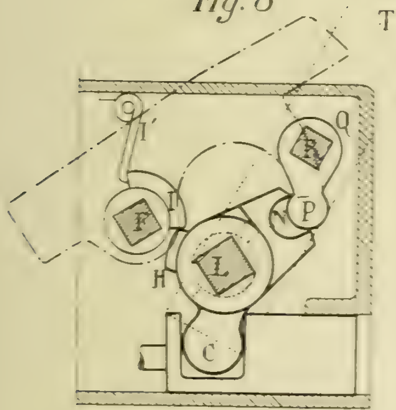


Fig. 9

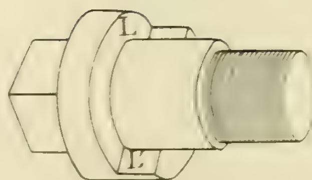
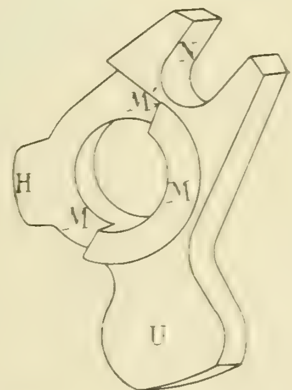


Fig. 10



[illegible] serrure-loqueteau, système Birlé.

[illegible]upe verticale transversale partielle suivant l'axe de la poignée extérieure : — Fig. 8. Coupe longitudinale, pêne et loqueteau [illegible]verts : — Fig. 9. Axe de la poignée intérieure : — Fig. 10. Douille avec porte-encoche montée folle sur l'axe de la poignée inte-

[illegible] du loqueteau. — I. Ressort à lame. — L. Axe de la poignée intérieure. — M, Douille folle, porte en[illegible] — N. [illegible] — O. Nez [illegible]
[illegible]rieure ; — U. Talon formant dent d'engrenage : — V, Logement du pêne C : — W. Plan incliné vertical ; — X, Cran de sûreté ; — Y, Rampe

sont libres, le pêne et le loqueteau prennent, sous l'action des ressorts, la position de fermeture. Il suffit de pousser la portière dans son cadre pour produire la fermeture : le pêne pénètre dans la gâche par la poussée de son ressort à boudin; le nez du loqueteau soulevé par la rampe tombe successivement dans les deux encoches sous l'action de son poids et du ressort à lame.

Si le pêne, pour une cause quelconque, ne rentre pas dans la gâche d'au moins la moitié de sa course, le loqueteau ne retombe pas complètement dans la deuxième encoche A_1'', et indique par sa position au voyageur que la fermeture de la serrure est incomplète. La même indication est donnée à l'agent de train par l'inclinaison que conserve la poignée extérieure.

Enfin, si un voyageur imprudent, et négligeant toute vérification, vient à s'appuyer contre la portière entre-bâillée le cran de sûreté du pêne agit et retient la portière.

La description qui précède montre que la serrure à loqueteau imaginée par M. Birlé possède les qualités suivantes :

a) Grandes garanties de sécurité résultant :

1° de l'action de deux organes de fermeture;

2° de la facilité donnée aux agents des chemins de fer et, simultanément, aux voyageurs (dont la nécessaire intervention est justifiée par les conditions actuelles du trafic) de contrôler les positions de ces deux organes;

b) Possibilité de manœuvrer la serrure de l'intérieur du compartiment;

c) Facilité et rapidité de manœuvre par les adultes :

d) Lenteur et difficulté de manœuvre par les enfants;

e) Simplicité relative des organes, qui peuvent être construits solidement et par suite être peu sujets à dérangement.

Dans ces conditions, Messieurs, votre Comité des Arts mécaniques a pensé, lors de la séance du 4 janvier, qu'il convient de retenir le dispositif imaginé par M. Birlé au nombre de ceux que notre Société est disposée, en principe, à récompenser. J'ai l'honneur de vous proposer, en son nom, de remercier M. Birlé de son intéressante communication et d'insérer le présent rapport dans notre *Bulletin*.

Le Rapporteur,

L. SALOMON.

Lu et approuvé en séance publique le 26 février 1921.

L'INDUSTRIE DES LAQUES D'EXTRÊME-ORIENT EN FRANCE[1]

Les laques d'Extrême-Orient n'ont aucun rapport avec les vernis dénommés laques en France. Elles n'ont rien de commun avec la gomme-laque qui, originaire d'Extrême-Orient elle aussi, est un produit animal dû aux sécrétions d'insectes du genre cochenille.

Les véritables laques, au contraire, sont d'origine purement végétale. Ce sont des latex, extraits par incision, d'arbres cultivés en Chine, au Japon, au Tonkin. En décroissance au Japon et en Chine, cette culture prend au contraire au Tonkin une importance chaque jour plus considérable.

Le Tonkin qui est depuis longtemps le seul pays du monde exportateur de laque, en exporte annuellement aujourd'hui 2.500 t environ.



Fig. 1. — *Rhus succedanea* (laquier d'Extrême-Orient).

Culture de l'arbre à laque. — L'arbre à laque cultivé au Tonkin est le *Rhus succedanea*. C'est un arbuste (fig. 1) qui, en plein développement, n'atteint pas plus de 4,50 m à 5 m de hauteur (fig. 2). Il commence à être saigné à sa troisième année; à sa huitième année, il n'est plus généralement bon qu'à faire du bois à brûler.

Les incisions (fig. 3) sont faites en forme de V embrassant la moitié du pourtour de l'arbre. Ces incisions sont commencées à la base de l'arbre. L'opérateur les continue toujours du même côté jusqu'à 2,50 m de hauteur environ; après quoi, il s'attaque à la base de l'arbre du côté opposé.

L'incision faite, l'opérateur fixe à la pointe du V une grande coquille de moule fluviatile dans laquelle se recueille le latex qui exsude. Toutes

(1) Conférence faite par l'auteur en séance publique le 15 janvier 1921. (Voir le compte rendu de cette séance dans le présent numéro, p. 226).

les deux heures, des femmes passent et versent dans des paniers en bambou tressé le latex des coquilles.

Portés à la maison, les paniers sont versés dans de grandes jarres en terre



Fig. 2. — Laquiers de trois ans dans une plantation du Tonkin.

placées dans des chambres un peu humides et tout à fait obscures. Par densité, ce latex se divise peu à peu en quatre qualités, les meilleures étant



Fig. 3. — Saignée d'un laquier de trois ans dans une plantation du Tonkin.

les plus légères. Au-dessus se trouve le *son mat giau*, puis successivement : le *son gioï*; le *son nhi*; et le *son gân*.

Avant usage, les trois premières qualités sont d'abord filtrées. Les deux premières servent à la préparation des laques de superficie, la troisième à

celle des laques de soubassement. La quatrième est employée dans la préparation des mastics utilisés à l'imperméabilisation des paniers, des sampans et aussi de grandes jonques en bambou tressé.

C'est de ces quatre qualités de laque que sont composées les merveilles d'art chinois ou japonais qui font l'admiration du monde. Pour les exécuter, les artistes asiatiques n'emploient depuis fort longtemps qu'un matériel fort simple dont la routine a consacré la perfection.

Matériel du laqueur extrême-oriental. — Le matériel du laqueur se compose essentiellement :



Fig. 4. — Barattage de la laque brute, procédé extrême-oriental.

1° D'un baquet à baratter. Ce baquet est généralement une vaste capsule en bambou tressé dans laquelle le barattage est exécuté soit avec les deux mains, soit avec une main et un pied à l'aide d'une spatule en bois (fig. 4);

2° D'une machine à filtrer (fig. 5), qui se compose d'une planche en bois d'où s'élèvent deux montants en bois parallèles. Ces montants sont percés de deux trous dans lesquels tournent deux tourillons à l'extrémité desquels se fixent deux ficelles. Un récipient est placé entre les deux montants; sur ce récipient est posée une toile, recouverte suivant le cas d'un matelas de déchets de cocon de soie, de coton, de kapok ou même de papier-pelure souple, analogue au papier des copies de lettres. La laque à filtrer est versée sur la toile ou sur le matelas qui la recouvre; elle fait creux dans le récipient. La toile est convenablement pliée et bordée par dessus : les deux extrémités du boudin ainsi formé sont saisies dans les ficelles fixées aux tourillons. Les

tourillons tournés en sens inverse diminuent le volume du boudin et, par pression, la laque exsude à travers les mailles.

L'étalage se fait : pour les mastics de laque, à l'aide de spatules en os; pour les laques, avec des pinceaux ou, pour les belles laques de superficie, avec des spatules en corne ou en bois.

Les pinceaux sont composés, suivant les laques à étendre, de poils de queue de bœuf ou de cheveux de Chinois. Poils ou cheveux, humectés d'eau, sont convenablement peignés et agglomérés en rectangle avec de la laque, puis entourés d'un papier spécial qui, grâce à la laque dont est recouverte le rectangle, fait corps avec lui. Ce rectangle est inséré entre deux palettes de



Fig. 5. — Filtrage de la laque brute, procédé extrême-oriental.

bois, collées à lui avec de la laque; sur les deux côtés, on colle, avec de la laque, des lamelles de bois: on fait pression avec une ficelle enroulée autour du pinceau. Quand la laque est sèche, on croirait être en présence d'un bloc de bois plein rectangulaire sur lequel il est souvent impossible de deviner la moindre trace de collage. En entaillant les faces de ce bloc, les laqueurs mettent à nu les poils ou les cheveux et leur laissent 4 mm de longueur environ. En cours de travail, ces poils s'usent; le laqueur entaille les faces du pinceau comme nous ferions d'un crayon afin de toujours conserver la même longueur de poils.

Pour les décors d'art, les Asiatiques emploient, en outre, des pinceaux ronds en poils fixés sur un roseau.

Ponçage. — L'application de chaque couche de laque (fig. 6) est précédée d'un ponçage (fig. 7) soit sur bois, soit sur la couche précédente de laque.

Ces ponçages sont faits en Extrême-Orient soit à la ponce en morceaux, soit avec une pierre tout à fait analogue à la pierre à rasoir.



Fig. 6. — Application de la laque sur une hélice aérienne aux Établissements de Chalais-Meudon pendant la guerre.

Voilà tout le matériel du laqueur; il est assez simple, presque primitif.

Locaux. — Les locaux où se font la préparation et le travail de la laque

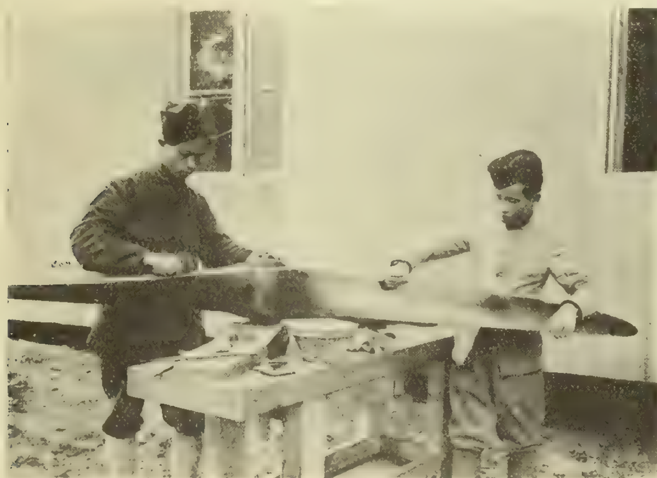


Fig. 7. — Ponçage de la première couche de soubassement sur une hélice aérienne aux Établissements de Chalais-Meudon pendant la guerre.

doivent être exempts de poussières et éclairés d'une lumière tamisée. Les objets fraîchement laqués sont mis à sécher dans des chambres obscures et très humides; souvent même, les objets sont mis dans des armoires

humectées d'eau et, à leur défaut, simplement entourés de nattes mouillées. La laque jouit, en effet, de l'étrange et longtemps mystérieuse propriété de sécher ou plutôt de durcir à l'humidité.

Préparations. — Les soubassements sont faits ou de *son nhi*, laque de troisième qualité pure, ou de *son nhi* mélangé d'une terre spéciale; ce mélange prend le nom de *son hom.* Les mastics de soubassement sont faits de *son nhi* mélangé à la même terre et à de la sciure de bois (*son bo*).

Les belles laques de superficie sont composées des deux premières qualités de laque brute, *son mat* et *son gioï,* soit pures, soit additionnées de proportions variables d'huiles diverses ou de résines. Ces laques ou ces mélanges sont malaxés fort longtemps, huit jours environ. Quelquefois, les colorants sont additionnés au mélange au cours du malaxage; la plupart du temps ils ne sont additionnés qu'à la laque déjà préparée.

Les couleurs varient du noir au jaune clair en passant par le rouge et le vert; il n'y a ni laques blanches ni laques bleues, car la laque transparente n'existe pas. Les laques ainsi dénommées sont toujours un peu jaunes.

Travail du laquage. — Dans tout travail de laquage soigné, les Asiatiques commencent par entoiler l'objet à laquer. C'est naturellement avec de la laque que la toile est collée sur le bois. Quand le laqueur veut faire un travail moins parfait, il n'entoile pas l'objet à laquer mais il en dégarnit tous les joints au couteau, puis il les mastique soigneusement.

Une fois secs, entoilages et masticages sont minutieusement poncés. L'objet à laquer reçoit alors une ou plusieurs couches de mastic ou de laque à la terre. A ces couches succèdent une ou plusieurs couches de laque brute qui complètent le travail de soubassement. Le travail une fois terminé, l'objet à laquer est toujours, et quelle que doive être sa teinte définitive, d'une couleur brun noir.

Alors commence l'application des diverses laques de superficie dont la dernière couche est, après ponçage, avivée au charbon de bois en poudre avec la paume de la main. C'est cet avivage qui joint à la richesse et à la profondeur des tons de la laque cette inestimable douceur de toucher que tout le monde connaît. Le laquage terminé, l'objet reçoit, s'il y a lieu, des décors en laque.

Les laques d'or et d'argent ne sont pas obtenues par mélanges de poudres d'or et d'argent à des laques avant leur application. Elles sont obtenues par insufflation de poudres d'or et d'argent sur des objets fraîchement laqués quand, avant d'être tout à fait sèches, les laques qui les recouvrent sont encore « amoureuses », stade de dessiccation bien connu des vernisseurs.

Beaucoup de laques anciens sont couverts de ciselures exécutées dans

l'épaisseur même de la laque; ce sont les laques dits de Coromandel, les laques de Foutchéou et ceux de Pékin. Ces laques sont des merveilles, mais leur exécution a demandé un temps si long qu'il ne faut voir en eux que des vestiges d'un passé qui ne peut plus revivre. Ces productions artistiques peuvent faire vivre un atelier d'artistes; elles peuvent ajouter à la renommée d'artistes déjà connus ; en aucun cas elles ne sauraient alimenter une industrie européenne.

Ce ne sont donc ni la beauté ni la richesse de sa matière mais bien les autres propriétés dont nous parlerons tout à l'heure qui font de la laque un produit industriel tout à fait remarquable.



Fig. 8. — Boursouflement de la face produit par l'éruption de laque chez un Européen d'une vingtaine d'années.

CARACTÉRISTIQUES DE LA LAQUE. — *Laque liquide.* — A sa sortie de l'arbre, la laque est un liquide crémeux, de couleur et d'aspect; ce liquide brunit rapidement à l'air. Sa manipulation, quand il est à l'état frais surtout, peut occasionner aux personnes qui l'approchent, sans même qu'elles aient à le manipuler, des éruptions (fig. 8). Ces éruptions, auxquelles la légende attribue à tort d'étranges méfaits, ne sont jamais que des dermites superficielles : si désagréables qu'elles soient, elles ne présentent aucune gravité. Korschelt et Yoshida croient que la nocivité de la laque serait due à un acide volatil qu'elle renferme à l'état de traces seulement. Ils doivent avoir raison car les laques préparées, longtemps malaxées à l'air, sont bien moins dangereuses que les laques brutes. J'ai commencé avec le concours du chimiste, M. Guérin, des expériences qui, jusqu'à présent, semblent confirmer l'opinion de Korschelt.

Quoi qu'il en soit, ces éruptions, soignées à temps, cèdent à l'application de compresses d'eau bouillante. Les Annamites et les Chinois les traitent avec des décoctions de copeaux de pin, de l'eau de crabe et, beaucoup plus efficacement, en pratiquant sur les parties malades des frictions de chaux en poudre.

Durcissement. — Ainsi que nous l'avons vu, la laque sèche ou, pour mieux dire, durcit à l'humidité. Cette mystérieuse propriété a été pour la

première fois signalée à l'Europe par le livre remarquable que le père d'Incarville écrivit en 1770, sous la dictée d'un laqueur de la cour de Pékin. Toutefois, ce sont Korschelt et Yoshida qui, en 1884, dans les *Transactions of the Asiatic Society* ont donné, les premiers, l'explication de ce phénomène. Cette explication manquait toutefois de clarté puisque, en 1887, le chimiste allemand Rein se demandait encore si ce durcissement n'était pas dû à une hydrolyse plutôt qu'à une oxydation ainsi que le prétendaient Korschelt et Yoshida.

C'est au professeur Gabriel Bertrand qu'il appartenait, par ses remarquables études sur les ferments solubles, d'ouvrir toute grande sur ce mystère, la porte timidement entr'ouverte par Korschelt et Yoshida.

« On s'explique à présent, dit le Professeur Bertrand, à la page 15 de sa conférence de 1903 sur les oxydases, pourquoi les ouvriers laqueurs se servent de chambres humides pour assurer la transformation de leur vernis. Le latex est une émulsion de laccol dans une dissolution très concentrée de laccase. En l'étalant en couches minces, on favorise l'évaporation de la petite quantité d'eau qu'il renferme. Dans une atmosphère sèche, cette évaporation est très rapide et le ferment, actif seulement à l'état dissous, n'a pas le temps d'agir. »

La laccase, comme toutes les diastases, a son activité nulle à 0°, elle atteint son maximum de pouvoir oxydant entre 27° et 30°; se coagule à 60° et meurt à 100°.

On comprend aisément comment la laque, précisément parce qu'elle durcit à l'humidité, présente à l'humidité, une fois sèche, un obstacle infranchissable.

A l'état liquide, la laque contient :

10 à 30	p. 100	d'eau;
86 à 61	—	de laccol (acide urushique des Japonais) (1);
2 à 3	—	de laccase (le *nitrogenous body* des chimistes japonais);
3 à 6	—	de gomme.

Plus elle contient de laccol et moins elle contient d'eau et de gomme, meilleure est sa qualité.

Durcissement à chaud. — Cette même laque qui, portée à 60° puis à 100°, ne peut plus durcir à l'humidité, peut encore durcir si on la porte, dans certaines conditions, à une température qui varie suivant les résultats à obtenir, mais qui n'excède jamais 500°. Dans ces conditions, le durcissement serait dû à une simple dessiccation, croit M. G. Bertrand qui ne l'a pas étudié. Le phénomène n'est peut-être pas aussi simple, mais, durcie à

(1) De *urushi*, nom japonais de la laque.

chaud, la laque n'a certainement pas la même composition chimique que la laque durcie à l'humidité (acide oxyurushique); elle jouit néanmoins de propriétés physiques et chimiques tout à fait analogues.

C'est ce mode de durcissement qui a été employé pour le laquage des antiques armures japonaises qui, vieilles de plus de 1 000 ans, n'ont pas encore rouillé.

Propriétés physiques. — Je ne reparlerai pas de la beauté de la laque; tout le monde la connaît. Cette belle matière adhère à tous les corps ou à peu près : les bois, les métaux, le carton, les tissus, le ciment, l'ardoise. Je ne connais qu'un seul corps sur lequel son adhérence laisse à désirer, c'est le verre à vitres.

Elle protège d'une manière absolue n'importe lequel de ces corps contre les effets de l'eau ou de l'humidité. Elle est absolument imperméable à l'eau et à l'humidité. Cette imperméabilité résulte, je le répète, de son durcissement à l'humidité.

La laque est un mauvais conducteur de la chaleur; c'est un isolant électrique parfait. Des essais faits par une de nos plus grandes compagnies d'électricité dont l'activité s'étend au monde entier, il résulte que le pouvoir isolant de la laque est de $\frac{1}{10}$ supérieur à celui du mica qui est le meilleur isolant connu.

Sans se ramollir, les laques séchées à froid résistent à 410° ; séchées à chaud, elles ne commencent à charbonner qu'au point de ramollissement de l'aluminium, soit 550°. Ce qui est déjà bien étrange et très remarquable pour un produit végétal.

Malgré leur dureté, les laques sont absolument souples : un jonc laqué peut être, sans inconvénient aucun pour la laque qui le recouvre, plié en cercle.

Un morceau de métal laqué peut être frappé, martelé, tordu sans que la laque cède. Un fil de métal laqué peut être tordu en tous sens sans que la laque en souffre.

Le temps enfin ne peut rien sur la laque : elle est éternelle.

Propriétés chimiques. — Une fois solide, la laque n'est plus soluble ni dans les essences ni dans les huiles, ou minérales ou végétales. Les plus puissants solvants, l'acétone et l'acétate de méthyle, ne peuvent rien sur elle. On a écrit, et je l'ai longtemps cru, que l'huile lampante de pétrole ramollissait la laque tant qu'elle était en contact avec elle. Des essais, que j'ai récemment prié M. Guérin d'entreprendre, infirment cette croyance. Deux récipients laqués, l'un à chaud, l'autre à froid, ont pu contenir

15 jours du pétrole sans que la dureté de la laque en ait diminué en quoi que ce soit.

L'eau de mer, pas plus que l'eau douce, ne peut rien sur la laque.

La laque est absolument inattaquable par les bases même concentrées; les acides concentrés ou additionnés d'eau, à froid ou à chaud, n'ont aucune action sur elle. L'acide fluorhydrique même ne peut rien sur elle; seul, l'acide azotique fumant et bouillant la transforme, et même rapidement, en longs cristaux jaunes.

Quoi qu'on en ait écrit, la laque n'est pas incombustible : elle ne s'enflamme qu'à une température élevée, mais alors elle brûle parfaitement.

Emplois. — Les Européens ne connaissent guère la laque que par les productions d'art qui l'ont rendue célèbre dans le monde.

Néanmoins, avant l'introduction des peintures européennes en Extrême-Orient, les Asiatiques ne se servaient guère d'autre peinture et tous les objets qui auraient été vernis ou peints en Europe étaient laqués en Extrême-Orient. Les Asiatiques laquaient même leurs ustensiles de cuisine et l'on vend couramment encore aujourd'hui, au Japon, des services à riz en bois laqué.

Les Asiatiques laquent depuis longtemps leurs « pousse-pousse » jiurikisha, leurs chaises à porteurs. A mon arrivée au Tonkin, en 1900, j'avais à mettre sur pied une affaire de pousse-pousse à roues caoutchoutées. Les vernis européens résistaient si mal au climat que je me décidai à imiter les Annamites et à laquer mes pousse-pousse.

J'obtins des résultats assez bons pour que tous les carrossiers européens d'Extrême-Orient, les compagnies de chemins de fer, etc., se soient peu à peu décidés à suivre mon exemple et à laquer leurs véhicules.

En 1903, à la demande de l'Artillerie de Hanoï, je dus, pour préserver de l'humidité du pays, ses approvisionnements d'obus, en laquer les fusées. La laque se montra si imperméable qu'immergés pendant des mois, les obus éclataient aussi bien à leur sortie de l'eau qu'avant d'y entrer.

En 1916, instructeur à l'École de Tir aérien de Cazaux, j'adressai un rapport au Ministère pour lui présenter les avantages qu'il y aurait à utiliser en aviation les qualités d'adhérence, de souplesse, de dureté, d'imperméabilité de la laque. Je proposai de laquer tout d'abord les hélices.

Je fus dirigé sur l'Établissement de Chalais-Meudon; ma tâche y fut singulièrement facilitée par la bienveillance de M. le capitaine Guérin qui, dès mon arrivée, s'intéressa à la laque et comprit l'importance qu'elle pouvait avoir en aviation.

Les hélices laquées, essayées comparativement avec les hélices vernies,

furent exposées aux intempéries et soumises à l'action de l'eau de pluie, l'hélice étant en pleine vitesse. Tandis que la Section des Essais mécaniques procédait à ce travail, la Section des Essais chimiques soumettait les vernis et les laques à l'action de l'eau douce, de l'eau de mer, de l'essence, de l'huile de pétrole, de l'huile de ricin.

Ces essais démontrèrent la supériorité éclatante des laques sur les vernis. Absolument imperméable, une hélice laquée ne peut ni se déformer, ni se décoller; elle est inattaquable par l'eau de pluie; elle est pratiquement inusable. Aujourd'hui, l'aviation française donne toutes ses hélices à laquer à la Société française des Laques indochinoises.

L'aviation commence à s'apercevoir qu'elle doit donner à laquer d'autres pièces que ses hélices. Les flotteurs d'hydravions, en bois contreplaqué, y gagneraient en imperméabilité et en durée. Les pièces en duralumin y trouveraient une protection absolue contre les intempéries et l'eau de mer.

La Société des Laques indochinoises n'entend pas borner son activité au travail des hélices : déjà, depuis l'armistice, ses ateliers ont consacré une partie de leur production à l'ameublement. Ils ont de plus laqué quelques carrosseries d'automobiles. Le laquage devrait, il me semble, trouver un développement rapide en carrosserie dans tous les pays d'Europe qui possèdent des routes goudronnées. La laque résiste absolument à l'action du coaltar qui, par contre, dissout n'importe quel vernis avec lequel il entre en contact.

C'est particulièrement dans l'industrialisation du laquage que cette société cherche sa voie; c'est surtout en utilisant la laque dans tous les cas où ses propriétés uniques l'imposent, et dans ceux-là seulement, que cette société trouvera un élément certain de développement et de prospérité.

L'emploi de la laque s'impose en industrie toutes les fois qu'il faut préserver de l'humidité, froide ou chaude, une pièce en bois, en carton, en métal ou en n'importe quelle matière.

Dans tous les cas où il y a à garantir une pièce de métal ou un récipient en métal contre l'attaque des acides ou des bases concentrées ou diluées, à froid ou à chaud, la laque donnera une protection absolue.

Voilà les qualités qui assurent à la laque un débouché important en filature pour la protection des bobines contre l'humidité ou l'action des acides. Dans les filatures de soie artificielle, notamment, les essais qui se poursuivent depuis quelques mois sur des bobines d'aluminium laquées ont donné des résultats qui permettent tous les espoirs. Ces mêmes filatures et celles de soie naturelle trouveraient dans la laque l'inestimable poli et la

douceur de toucher qu'elles recherchent mais en vain pour certains de leurs dévidoirs ou de leurs bobines en bois précieux.

Des fûts en métal laqué pourraient loger n'importe quel liquide alimentaire, vin, bière, etc., sans que ces liquides subissent aucune détérioration de saveur ou d'odeur.

Les citernes et les cuves en ciment trouveraient dans la laque un revêtement parfait qui leur permettrait de contenir sans le moindre dommage pour eux des vins ou des bières même en fermentation.

L'industrie chimique, la teinturerie auraient certainement avantage et économie à faire laquer leurs bacs à produits ou à teintures.

Application de la laque en électricité. — Dans l'industrie électrique, la laque paraît présenter un intérêt particulier; en effet, si l'on considère :

1° qu'elle a un pouvoir isolant considérable;

2° qu'elle adhère sur le cuivre, l'aluminium et la tôle de façon remarquable;

3° qu'elle est pratiquement incombustible et reste dure et adhérente jusqu'à des températures bien supérieures à celles qui sont admises pour l'échauffement des conducteurs électriques;

4° qu'elle est souple et conserve cette qualité en vieillissant, ce qui n'est pas le cas de la plupart des vernis ou émaux actuellement employés;

5° qu'elle est impénétrable à l'eau;

6° qu'elle est inattaquable par les huiles de pétrole, même chaudes;

7° que l'ozone est sans action sur elle;

8° qu'il en est de même pour les acides concentrés et étendus,

pour toutes ces raisons, la laque paraît être susceptible de multiples applications pour le revêtement des tôles magnétiques, des conducteurs électriques et des bobinages de dynamos, à basse et haute tension, même et surtout pour des applications particulièrement scabreuses, par exemple, dans les atmosphères acides des poudreries.

Signalons, pour terminer, que la laque donne sur l'ardoise un beau revêtement, adhérent et souple, rappelant l'aspect du marbre noir. A ce point de vue, on peut envisager son emploi pour les tableaux de distribution des stations centrales car elle met remarquablement en valeur les cuivres ou les nickels des appareils placés sur les panneaux.

C'est là, nous objectera-t-on, un point de vue purement esthétique, mais qui n'est pas négligeable dans les grandes installations où la question d' « œil » doit toujours entrer en ligne de compte; or, on sait que les marbres blancs ou bleus, jaunissant à la longue et étant pratiquement d'un réassortissement impossible, tendaient, avant la guerre, à être remplacés par

le marbre noir ou l'ardoise anglaise, émaillée au four. Mais ces matières sont actuellement introuvables ou d'un prix prohibitif et seraient très avantageusement remplacées par l'ardoise laquée qui, signalons-le en passant, est susceptible, en cas d'accroc, de subir un « stoppage » absolument invisible.

Ajoutons, enfin, que le laquage des panneaux d'ardoise, paraît présenter un intérêt au point de vue de l'isolement pour les sous-stations de traction à 1.500 V.

*
* *

J'ai été obligé de parler de moi pour expliquer comment j'avais connu la laque et ce que j'avais fait pour en vulgariser l'usage en Extrême-Orient. J'ai dû exposer comment, à la suite des essais de Chalais-Meudon et de la fondation de la Société des Laques indochinoises, j'avais introduit l'industrie de la laque en France. Je m'excuse d'autant plus de ce manque de modestie qu'il me faut encore vous entretenir des essais d'industrialisation du laquage que j'ai effectués, du but vers lequel je tends et de celui vers lequel toute affaire de laquage en Europe devra tendre, si elle veut réussir.

La laque a des propriétés merveilleuses qui l'imposent en industrie. Toutefois son barattage à la main, son étendage au pinceau, ses interminables ponçages et avivages, sont des procédés archaïques qui doivent disparaître. Ridiculement lents et onéreux en Extrême-Orient, où la main-d'œuvre est cependant à bon marché, en apparence tout au moins, ils constituent, en France, un anachronisme et une impossibilité matérielle. Ces procédés constituent un empêchement formel à toute utilisation de la laque dans l'industrie.

Le travail de la laque employée en industrie se fera mécaniquement ou jamais l'industrie ne pourra utiliser la laque. Nous avons pu heureusement trouver des pétrins mécaniques qui prépareront d'aussi bonnes laques qu'ils fabriquent de bon pain.

Après bien des tâtonnements, nous avons rencontré un système d'aérographe qui étend parfaitement bien la laque. C'est un merveilleux instrument de travail qui remplace, suivant les surfaces à enduire, 10 à 20 laqueurs expérimentés. On nous annonce enfin des machines à poncer qui simplifieraient le travail ruineux du ponçage des hélices et celui, plus onéreux encore, de l'ameublement.

Pour laquer l'intérieur des fûts et de tous les récipients de faible orifice, nous mettons au point un procédé qui donnera de très bons résultats. Nous n'aurons rien inventé, nous n'aurons d'autre mérite que celui d'avoir adapté; mais, d'ici peu, quand la Société des Laques indochinoises utilisera

nos procédés, notre satisfaction sera grande de penser que nous aurons, dans la petite part de nos faibles mérites, contribué à la marche du progrès dans le monde.

Prochainement j'aurai donc, je l'espère, l'occasion de vous prier de m'accorder de nouveau votre bienveillante attention.

Je ne vous parlerai plus des laques dans le passé ; je ne vous décrirai plus ces procédés aussi parfaits que merveilleusement simples et ingénieux de la routine asiatique. Je ne vous parlerai plus de l'avenir des laques. Je vous entretiendrai seulement du présent : je vous dirai ce que nous sommes arrivés à faire et les services que nous sommes à même de rendre à l'industrie française. Je répète : l'industrie française, car je ne doute pas que vous ne nous aidiez tous à répandre en France l'usage de ce merveilleux produit originaire d'une colonie française. Nous y arriverons grâce à votre concours, nous l'espérons, et nous ne laisserons pas l'étranger nous devancer dans cette voie.

La France et le Tonkin trouveront dans l'industrie de la laque un élément de bien-être et de prospérité.

P. VERNEUIL.

LA MANIPULATION PNEUMATIQUE DES LIQUIDES ET LA DISTRIBUTION INDUSTRIELLE DES CARBURANTS [1]

I. — LA MANIPULATION PNEUMATIQUE DES LIQUIDES

Considérations générales. — Dans la communication que nous allons avoir l'honneur de vous faire, nous vous exposerons les principes d'établissement de différents types d'appareils de manipulation pneumatique des liquides et nous terminerons par quelques idées générales sur la distribution industrielle des carburants.

Les appareils de manipulation des liquides, utilisés jusqu'à ce jour, peuvent être divisés en deux catégories principales : appareils à pompes, appareils à pression de gaz ou monte-jus.

Les pompes comportent des organes en mouvement dans la masse du liquide pour assurer le refoulement de celui-ci, tandis que les monte-jus sont caractérisés par l'utilisation d'une masse de gaz à pression convenablement réglée agissant directement sur le liquide.

La manipulation pneumatique des liquides, dans les différentes industries, se complique en général d'un problème de circulation rationnelle des gaz utilisés pour leur propulsion, car il importe le plus souvent d'éviter la diffusion, dans l'atmosphère, de gaz saturés de vapeurs inflammables, toxiques, explosibles ou altérables, émises aux températures ordinaires.

Nous nous étendrons plus particulièrement dans cette communication sur différents types d'appareils de manipulation des liquides inflammables, tels que les essences, les pétroles, les éthers, les benzols, les alcools et les mazouts.

Appareils à pompes. — Les systèmes de manipulation par pompes, les plus anciens, sont encore très répandus : ils comportent l'emploi de pompes alternatives, rotatives ou semi-rotatives. Les pompes, utilisées tout d'abord pour la manipulation de l'eau ou des corps en solution dans l'eau, ont été par la suite employées également, telles quelles ou avec certaines modifications, pour la manipulation des combustibles liquides, au fur et à mesure du développement des applications de ces derniers.

(1) Conférence faite par l'auteur en séance publique, le 8 janvier 1921.

La manipulation par pompes des combustibles liquides ne va d'ailleurs pas sans divers inconvénients, en particulier au point de vue de la sécurité et de l'économie.

Malgré tous les soins que l'on s'est efforcé d'apporter à la construction des pompes, celles-ci manquent de souplesse et se détériorent rapidement à l'usage, à cause de l'impossibilité dans laquelle on se trouve d'assurer le graissage des organes en mouvement en contact avec des liquides dissolvants des lubrifiants : ces organes prennent rapidement du jeu, ce qui détermine des fuites et de fréquents désamorçages.

Quel qu'en soit le type, les pompes comportent toutes des organes en mouvement en contact direct avec le liquide : par suite des difficultés de graissage, il y a donc toujours à craindre l'échauffement par frottement de ces organes, ainsi que l'inflammation du liquide combustible en contact avec ces derniers.

Le liquide, à la sortie de la pompe, est refoulé le plus souvent dans une conduite avec robinets d'arrêt; si ces robinets se trouvent fermés pendant le fonctionnement de la pompe, la manœuvre de celle-ci fait monter immédiatement la pression dans la conduite de distribution, sans limite définie, ce qui peut en déterminer la rupture par coups de bélier.

Appareils de manipulation pneumatique. — Les inconvénients sommairement indiqués ci-dessus, ont amené peu à peu divers constructeurs, pour la manipulation des liquides tels que les hydrocarbures émettant des vapeurs inflammables aux températures ordinaires, à concevoir des monte-jus de types divers, permettant de réaliser des appareillages étanches et sans aucun organe mécanique en mouvement dans la masse du liquide.

Parmi les premiers systèmes étrangers de manipulation pneumatique des liquides, il importe de signaler ceux de la « Martini und Huneke Maschinenbau-Aktiengesellschaft » de Berlin qui ont donné lieu, principalement en Allemagne, à de nombreuses applications.

Ces systèmes, maintenant abandonnés en France, ont été décrits ici même, dans une conférence qui fut faite en 1913 (1).

Convaincus de la supériorité des monte-jus sur les pompes, pour la manipulation des liquides inflammables, nous avons personnellement conçu et exploité pendant les trois années qui précédèrent la guerre, des systèmes (systèmes Rolland et Mauclère) basés sur l'emploi de gaz inerte sous pression, que nous avons décrits ici même dans une conférence que nous avons faite le 9 mai 1913 (2).

(1) Voir le *Bulletin* de février 1914, p. 183-204.
(2) Voir le *Bulletin* de novembre 1913, p. 421-440.

Dans ces systèmes, qui comportent deux types principaux : systèmes sans récupération et systèmes avec récupération de gaz inerte, la pression nécessaire pour le refoulement du liquide jusqu'aux orifices de débit, s'exerce directement dans les réservoirs-magasins dont le remplissage s'effectue obligatoirement par gravité, grâce à la disposition de ces réservoirs en contre-bas par rapport aux fûts ou citernes d'amenée.

Dans les appareils avec récupération, la circulation du gaz inerte s'effectue en cycle fermé à l'intérieur de tuyauteries sur lesquelles se trouvent disposés un groupe compresseur et une batterie de réservoirs accumulateurs permettant d'emmagasiner la masse totale de gaz.

La pression à l'intérieur de chacun des réservoirs de liquide, grâce à l'intervention opportune du compresseur et des accumulateurs de gaz, peut ainsi varier, chaque fois qu'il est nécessaire, de la pression de refoulement du liquide pendant les phases de soutirage à la pression atmosphérique pendant les phases d'emmagasinage.

Les deux types d'appareils comportent des agencements particuliers de robinets et de tuyauteries de gaz et de liquide tels que le liquide fasse immédiatement retour dans le réservoir-magasin après chaque opération de soutirage, les canalisations demeurant simplement remplies de gaz inerte en communication avec l'atmosphère supérieure des réservoirs.

De ces deux types, il a été fait pendant ces dernières années des applications assez nombreuses et importantes.

Appareils « Mauclère » types 1920. — La guerre avait interrompu nos recherches pendant cinq années.

Nous les avons reprises sur des données sensiblement différentes, demeurant toutefois résolument fidèles au principe de la manipulation pneumatique, car nous sommes convaincus que les pompes ne donneront du problème de la distribution des liquides inflammables et de la plupart des liquides industriels, qu'une solution très incomplète.

Nous avons cherché à réaliser des appareillages simples, applicables à tous les cas concrets, c'est-à-dire aussi bien aux installations à créer qu'aux installations existantes, supprimant dans les réservoirs-magasins et dans les récipients de transport toute pression supérieure à la pression atmosphérique et présentant la sécurité maxima sans que les charges de premier établissement ou d'exploitation de ces dispositifs soient un obstacle à leur développement.

Nous nous sommes inspirés à la fois des principes de fonctionnement des appareils à pompes et des appareils monte-jus. Nous avons combiné ces principes pour réaliser, aussi bien en circuit ouvert qu'en circuit fermé, des

appareillages nouveaux permettant d'obtenir une circulation rationnelle des gaz combinée avec celle du liquide au travers de réservoirs de construction ordinaire, de pulsateurs à inversion de marche et de canalisations appropriées.

1° Appareils Mauclère a semi-récupération des vapeurs saturantes.

Description. — Dans les appareils de ce type, le liquide demeure constamment sous la protection d'un gaz convenablement choisi.

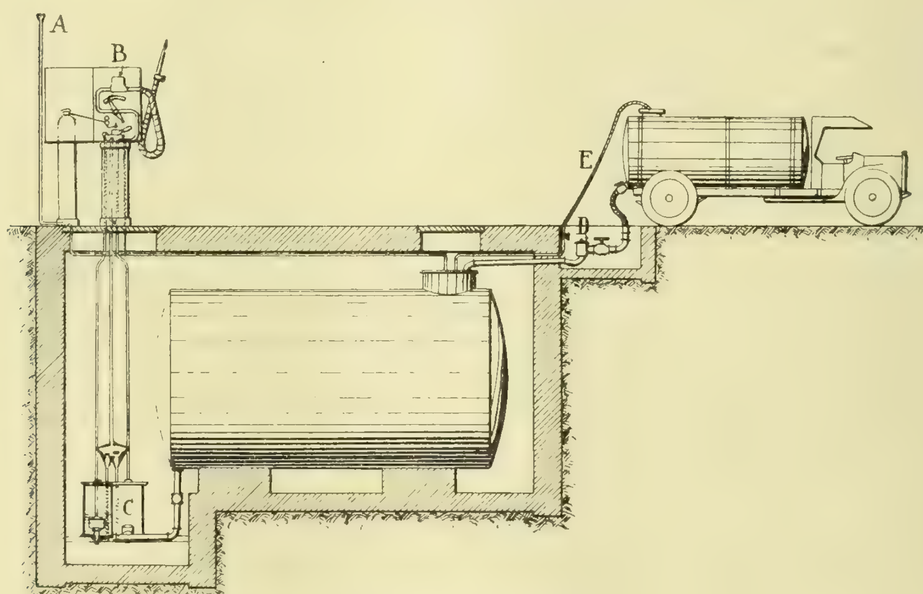


Fig. 1. — Installation de sécurité. Système Mauclère.
Type garage à semi-récupération de vapeurs.

A. tube d'évacuation; — B, compteur; — C, jaugeurs; — D, filtre; — E, tuyauterie et flexible d'échange de gaz saturés.

La pression dans le réservoir-magasin est toujours rigoureusement égale à la pression atmosphérique, grâce à la communication de la partie supérieure de celui-ci avec l'air extérieur, au moyen d'une canalisation appropriée débouchant à hauteur convenable.

Ainsi, les opérations d'emmagasinage et de soutirage peuvent s'effectuer simultanément.

Dans l'exemple représenté sur la figure 1, l'emmagasinage du liquide est assuré en reliant les deux récipients à remplir et à vidanger au moyen de tuyauteries souples, de façon à permettre le passage des gaz saturés de vapeurs du réservoir-magasin dans le camion-citerne en échange du liquide qui s'écoule par gravité à la pression atmosphérique.

On évite ainsi, pendant les opérations d'emmagasinage, des égouttures et toute déperdition de gaz ou de vapeurs d'essence dans l'atmosphère.

Le soutirage du liquide est obtenu par refoulement dans la tuyauterie de distribution, sous la pression convenablement réglée du gaz agissant alter-

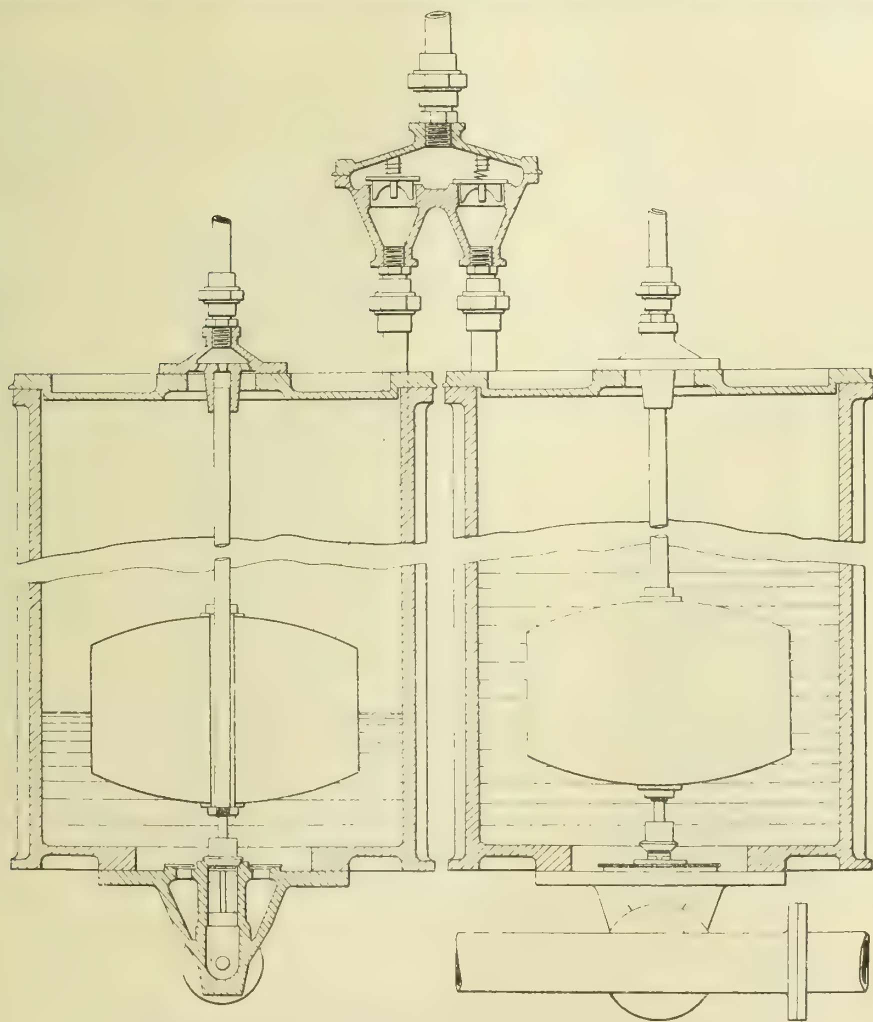


Fig. 2. — Ensemble du groupe des deux réservoirs conjugués.

nativement dans chacun des deux réservoirs conjugués (fig. 2) disposés en contre-bas du réservoir-magasin.

Le remplissage du premier réservoir conjugué s'opère par gravité, grâce à la mise en communication du réservoir à remplir avec l'atmosphère supérieure du réservoir-magasin. L'inversion de marche est assurée dans l'exemple représenté au moyen d'un robinet à quatre voies (fig. 3), à com-

mande à main, dont les deux positions extrêmes correspondent au débit de l'un ou de l'autre réservoir conjugué.

Les sections d'admission et de refoulement du liquide des réservoirs conjugués sont calculées de telle sorte que les durées des opérations de remplissage de ceux-ci soient toujours inférieures à celles des opérations de vidange, afin que l'on dispose toujours, pour le soutirage, d'une réserve de liquide d'un volume au moins égal à celui de l'un des réservoirs conjugués.

La position moyenne du robinet d'inversion correspond au régime de repos et assure immédiatement l'équilibre atmosphérique dans tout l'ensemble de l'appareillage puisqu'elle met en communication simultanément les atmosphères supérieures de chacun des réservoirs conjugués avec l'atmosphère supérieure du réservoir-magasin.

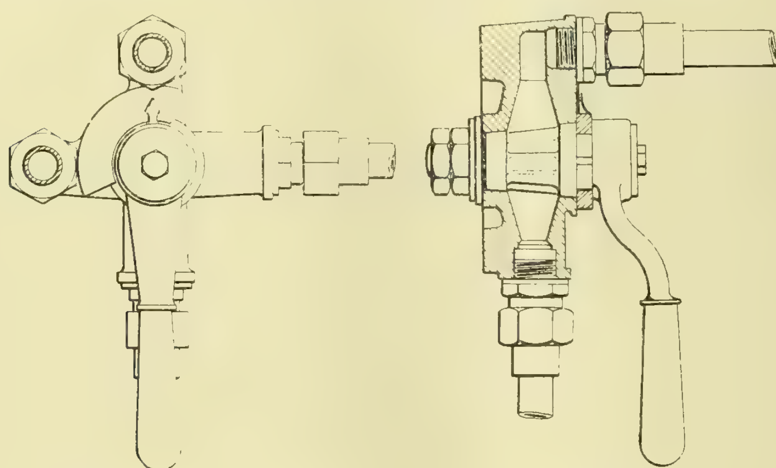


Fig. 3. — Ensemble du robinet à quatre voies, à commande à main.

Les figures 4 et 5 donnent les photographies d'un tableau de distribution et de deux réservoirs conjugués en groupe monobloc.

Les installations se complètent par divers accessoires tels que vannes, filtres, soupapes de sûreté, mano-détendeurs, compteurs, etc.

La figure 6 représente un poste de chargement direct des voitures dans un garage.

Semi-récupération. — Lorsqu'on manipule des liquides émettant des vapeurs légères aux températures ordinaires, l'extrémité supérieure de la tuyauterie de communication du réservoir-magasin avec l'atmosphère comporte, en principe, une soupape s'ouvrant seulement de l'intérieur vers l'extérieur et tarée à quelques grammes simplement pour faire équilibre à la tension de vapeur maxima du liquide manipulé.

Il y a réellement semi-récupération des vapeurs :

a) Parce que, pendant les opérations d'emmagasinage, les pertes de vapeurs sont nulles en raison de ce que les échanges de liquide et de gaz s'effectuent en circuit fermé et à la pression atmosphérique;

b) Parce que les gaz s'échappant alternativement des réservoirs conjugués, en se détendant dans le réservoir-magasin, l'on ne perd dans l'air, par la tuyauterie de communication, après chaque mise à l'échappement d'un réservoir conjugué, qu'une masse de gaz saturé correspondant à la cylindrée de liquide débité et à l'excédent de pression, 300 à 500 grammes environ, nécessaire pour assurer l'écoulement du liquide;

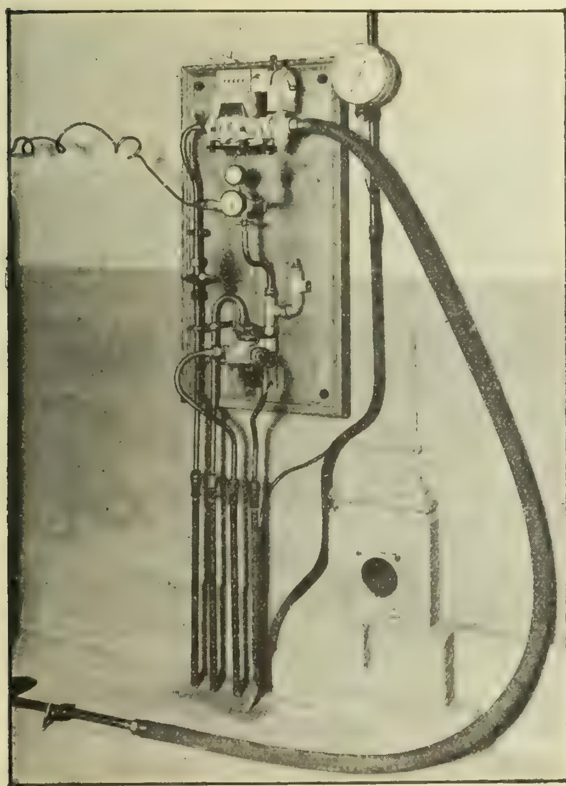


Fig. 4. — Tableau de distribution.



Fig. 5. — Réservoirs conjugués en groupe monobloc.

c) Parce que, pendant les opérations de repos, grâce au réglage de la soupape de tension de vapeur, aucune déperdition ne peut se produire dans l'atmosphère par l'extrémité de la tuyauterie de communication.

Sécurité. — Les appareillages ci-dessus constituent des installations de sécurité :

Parce que jamais, dans le réservoir-magasin, la pression ne peut dépasser la pression atmosphérique ou être inférieure à celle-ci;

Parce que les égouttures et les émissions de vapeurs sont complètement supprimées;

Parce qu'en dehors des opérations de soutirage, la pression du liquide et du gaz dans les jaugeurs conjugués, aussi bien que dans le réservoir-magasin, est toujours rigoureusement égale à la pression atmosphérique, ce qui supprime tout risque de projection de liquide à l'extérieur en cas de rupture de tuyauterie par suite d'accident ou de malveillance;

Parce que, le soutirage s'effectuant par refoulement dans les réservoirs conjugués et dans les canalisations, sans recourir à aucun organe mécanique

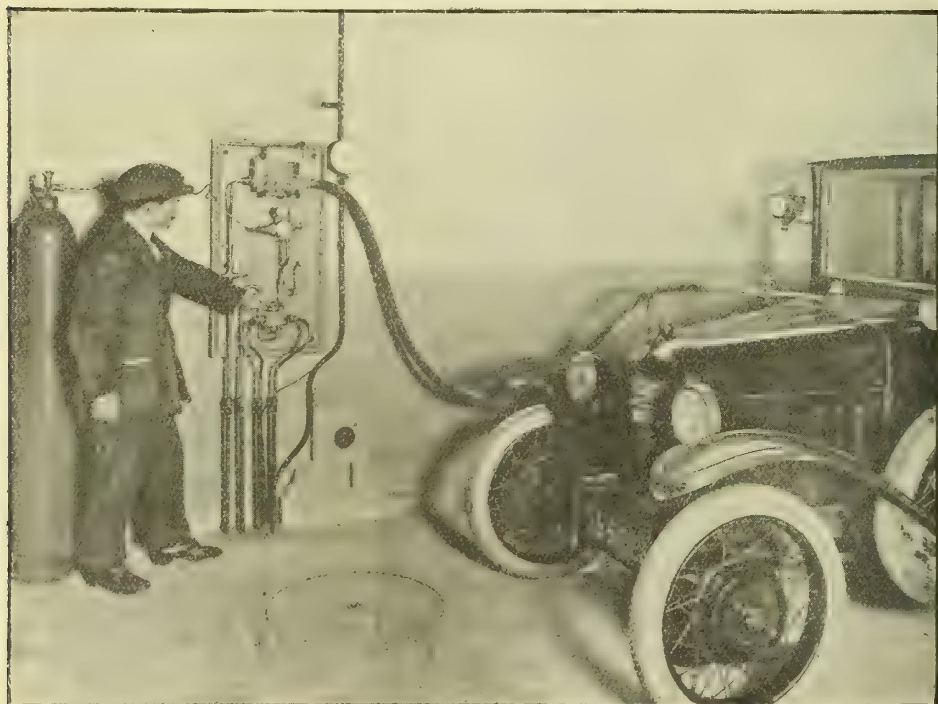


Fig. 6. — Poste de ravitaillement d'essence dans un garage.

en mouvement dans la masse du liquide, il n'y a pas à craindre des désamorçages ou des échauffements de pièces mal lubrifiées;

Parce qu'il ne peut se produire aucune surpression insolite pendant le soutirage, en raison du contact permanent de la masse du liquide avec un gaz parfaitement élastique, détendu alternativement dans les réservoirs conjugués à la pression constante correspondant au débit d'écoulement.

2° Appareils Mauclère a récupération intégrale des vapeurs saturantes.

Dans les appareils de ce type, aussi bien que dans les précédents, la pression dans le réservoir-magasin demeure toujours rigoureusement égale à la

pression atmosphérique, car ce réservoir-magasin est toujours en communication avec l'atmosphère par l'intermédiaire d'une canalisation appropriée débouchant à hauteur convenable.

Il est fait également usage de réservoirs conjugués pour le refoulement du liquide, mais ici le mouvement des gaz comporte deux circuits entièrement distincts : circuit fermé pour les réservoirs conjugués avec utilisation éventuelle d'un gaz convenablement choisi, circuit ouvert pour le réservoir-magasin avec communication constante avec l'air extérieur.

Les installations de ce type comportent l'emploi d'un appareil compresseur commandé à la main, mécaniquement ou électriquement, ainsi qu'un dispositif automatique d'inversion de marche des jaugeurs.

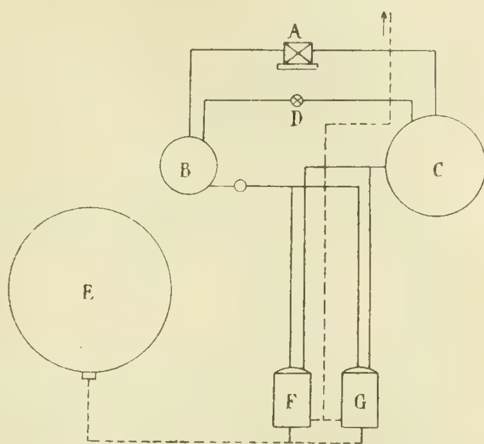


Fig. 7. — Schéma de circulation des gaz en cycle fermé (cas d'une installation avec un seul poste).

A, compresseur; — B, réservoir haute pression; — C, réservoir basse pression; — D, robinet d'équilibre; — E, réservoir-magasin; — F, G, jaugeurs.

Les figures 7 et 8 sont des représentations schématiques de la circulation

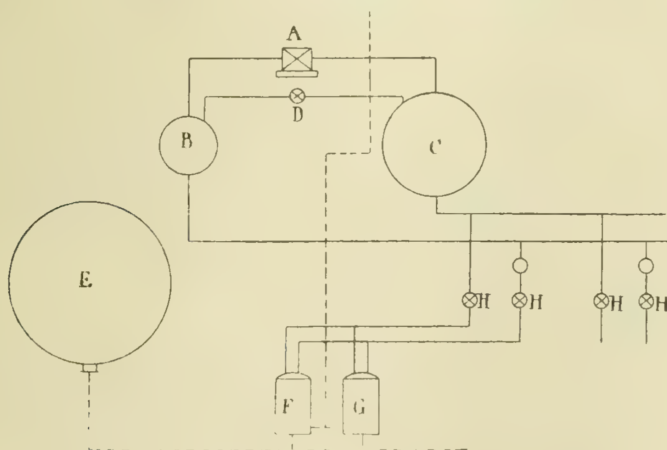


Fig. 8. — Schéma de circulation des gaz en cycle fermé (cas d'une installation avec postes multiples).

A, compresseur; — B, réservoir haute pression; — C, réservoir basse pression; — D, robinet d'équilibre; E, réservoir-magasin; — F, G, jaugeurs; — H, vannes.

des gaz en cycle fermé, d'une part dans le cas d'une installation avec un seul poste, d'autre part, dans le cas d'une installation avec postes multiples.

En amont et en aval du compresseur, sont disposés des réservoirs régulateurs d'aspiration et de refoulement : un robinet d'équilibre

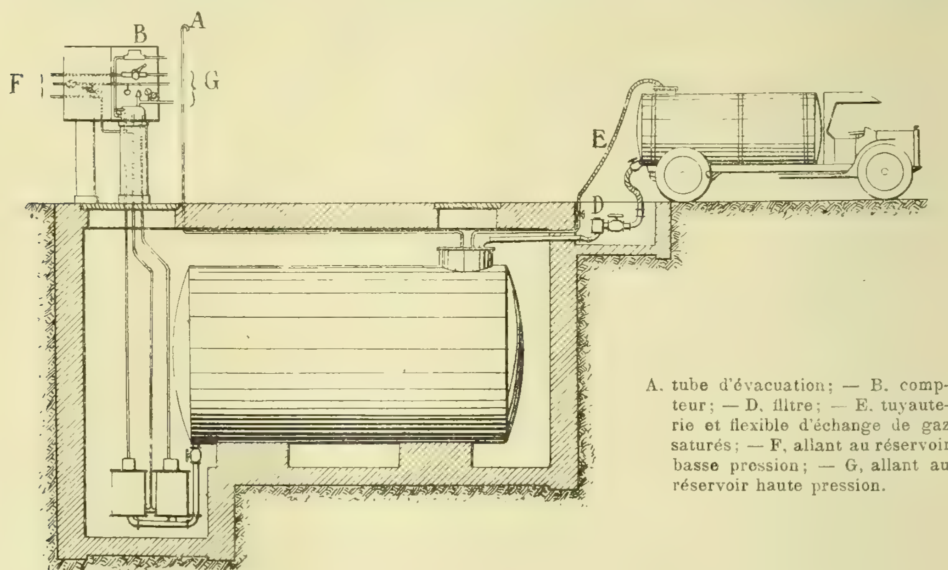


Fig. 9. — Installation de sécurité. Système Mauclère, à récupération intégrale des vapeurs.

général permet le rétablissement de la pression atmosphérique dans l'ensemble de l'appareillage pendant les périodes de repos.

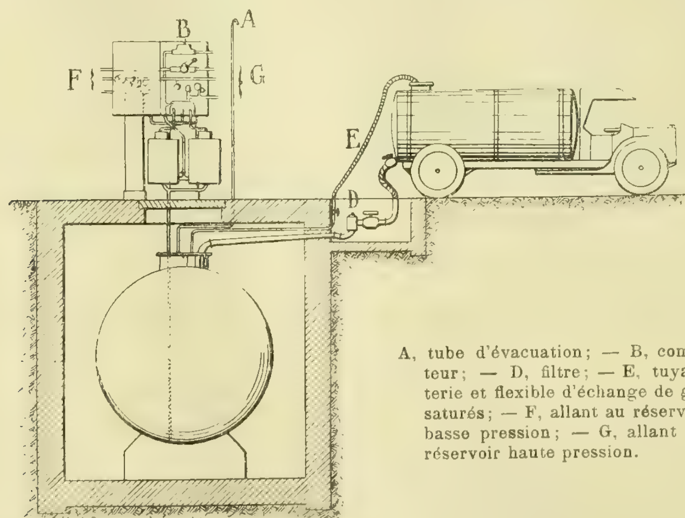


Fig. 10. — Installation de sécurité. Système Mauclère, à récupération intégrale des vapeurs.

Les figures 9 et 10 représentent des ensembles d'installations avec récupération des vapeurs, d'une part dans le cas où les réservoirs conjugués étant

en contre-bas du réservoir-magasin, leur remplissage s'effectue simplement par gravité; d'autre part dans le cas où les réservoirs conjugués étant disposés en contre-haut du réservoir-magasin, leur remplissage doit s'effectuer par aspiration grâce à la dépression créée par le compresseur.

Nous avons indiqué que la canalisation d'équilibre dans les installations à récupération intégrale des vapeurs saturantes débouchait directement dans l'atmosphère à sa partie haute. Lorsque l'on manipule des liquides émettant des vapeurs légères aux températures ordinaires, l'extrémité supérieure de cette canalisation comporte en principe une soupape s'ouvrant seulement de l'extérieur vers l'intérieur afin de permettre des rentrées d'air sec pendant les opérations de soutirage et d'éviter toute déperdition de vapeurs saturantes.

La figure 11 donne le schéma d'agencement d'un appareillage automatique d'inversion de marche des réservoirs conjugués basé sur la déformation des membranes étanches sous l'influence des différences des pressions statique et dynamique du gaz utilisé pour le refoulement du liquide.

Ce dispositif d'inversion automatique peut d'ailleurs être appliqué aussi bien aux installations du premier type à semi-récupération des vapeurs saturantes.

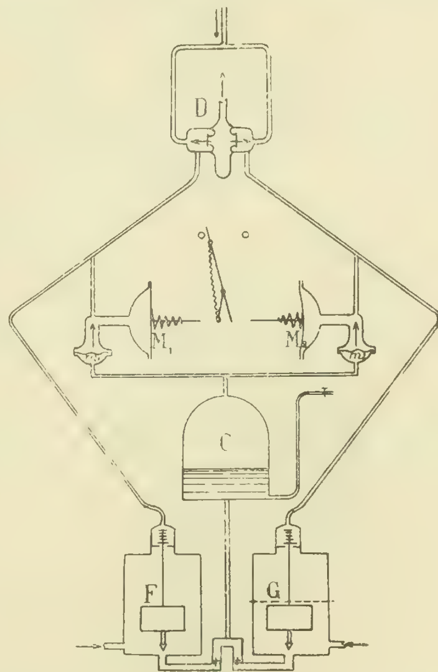


Fig. 11. — Schéma d'agencement d'un appareillage inverseur de marche à fonctionnement automatique.

M_1, M_2, grandes membranes; — m_1, m_2, petites membranes; — F, G, jaugeurs; — C, cloche; — D, clapets.

Dans les schémas d'installations représentés ci-dessus, l'on a supposé des réservoirs-magasins en contre-bas du sol; mais il n'y a aucune difficulté à appliquer les systèmes décrits à des installations avec réservoirs en surface.

La figure 12 représente une installation à semi-récupération des vapeurs saturantes dans l'hypothèse du ravitaillement par camion-citerne d'un réservoir en surface à axe horizontal.

La figure 13 représente également une installation à semi-récupération des vapeurs saturantes dans l'hypothèse du ravitaillement par camions-citernes, d'un réservoir en surface, mais il a été indiqué sur cette figure

une combinaison de tuyauteries permettant la réversibilité de marche afin

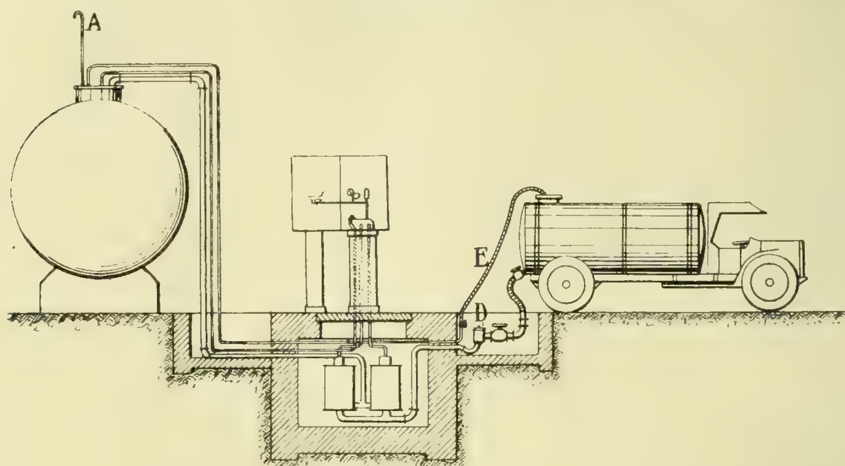


Fig. 12. — Installation de sécurité. Système Mauclère, à semi-récupération de vapeurs. Ravitaillement par camion-citerne d'un réservoir en surface.

A, tube d'évacuation; — D, filtre; — E, tuyauterie et flexible d'échange de gaz saturés.

de vidanger ou de remplir indifféremment les réservoirs-magasins ou les wagons-citernes.

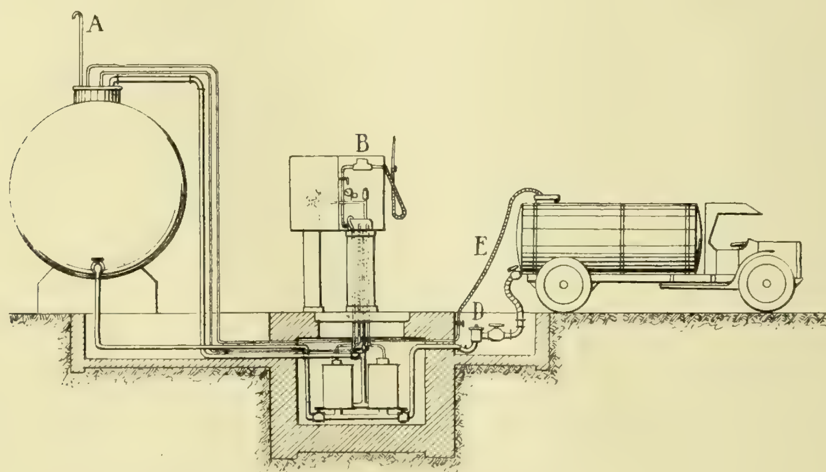


Fig. 13. — Installation de sécurité. Système Mauclère, à semi récupération de vapeurs, avec poste pouvant être utilisé indifféremment pour l'emmagasinage et le soutirage.

A, tube d'évacuation; — B, compteur; — D, filtre; — E, tuyauterie d'échange de gaz saturés.

En résumé :

Quelles que soient les conditions du cas concret à résoudre : débit par unité de temps, réservoirs-magasins en contre-bas ou en surface de dimensions quelconques, simultanéïté ou non des opérations d'emmagasinage et

de soutirage, l'utilisation de réservoirs conjugués, groupés par deux ou en batteries multiples, en circuit fermé ou en circuit ouvert, permettra toujours d'effectuer industriellement des opérations de distribution d'emmagasinage et de vidange de liquides contenus dans des réservoirs exactement maintenus à la pression atmosphérique.

A titre d'exemples, nous indiquerons quelques applications de nos systèmes à des cas concrets variés : vidange de chalands-citernes dans des tanks ordinaires disposés en surface; aménagement d'un entrepôt de vins avec cuves en ciment armé disposées en sous-sol; alimentation en essence et en huile d'un garage avec postes multiples à différents étages; alimentation en mazout de chaudières à brûleurs ou de moteurs Diesel.

II. — LA DISTRIBUTION INDUSTRIELLE DES CARBURANTS

Nous terminerons cette communication en émettant quelques vues sur la solution d'un problème actuellement à l'ordre du jour : nous voulons parler de la distribution industrielle des carburants sur le territoire national.

Au début de l'année 1920, nous avons soumis à l'approbation de Monsieur le Ministre des Travaux Publics un projet de création dans les grandes villes et sur les grandes voies de communication de postes distributeurs d'essence avec réservoirs souterrains, permettant d'assurer le ravitaillement direct des automobiles.

Dans ses grandes lignes, cette proposition comportait :

a) L'installation tout d'abord à Paris et dans sa banlieue immédiate, et par la suite dans d'autres grandes villes, de réservoirs souterrains de 4.000 litres environ de capacité chacun, avec postes distributeurs d'encombrement réduit pour abriter un préposé et les appareils de manœuvre et de mesure.

Le projet prévoyait le ravitaillement journalier de ces postes urbains au moyen de camions-citernes permettant de livrer en une seule fois la quantité d'essence correspondant à l'ensemble des débits de la veille.

b) L'installation progressive sur l'ensemble du territoire, en commençant de préférence par les régions libérées et les principales régions touristiques, de dépôts plus importants à proximité des voies ferrées et ravitaillés par wagons-citernes complets. Ces dépôts régionaux devaient permettre à la fois le ravitaillement direct des automobiles, le chargement de camions-citernes, et, éventuellement, le remplissage de bidons et de fûts.

Le projet dans son principe fut accueilli favorablement le 31 mars 1920 par la Commission Centrale des Automobiles au Ministère des Travaux Publics.

Nous en poursuivons la réalisation.

Les postes routiers ne distribueront pas seulement de l'essence; ils pourront encore fournir de l'huile pour les moteurs, de l'eau pour les radiateurs et vraisemblablement aussi de l'air sous pression pour le gonflage des pneus.

Dans une circulaire d'octobre 1920, adressée aux ingénieurs en chef des Ponts et Chaussées des départements, et aux compagnies de chemins de fer, Monsieur le Ministre des Travaux Publics a exprimé le désir de voir favoriser la création de semblables dépôts d'essence avec réservoirs souterrains, sur les



Fig. 14. — Borne de distribution d'essence en bordure d'une route.

accotements des routes nationales et sur les emprises des compagnies de chemins de fer.

Dans cet esprit, des études sont actuellement poursuivies et des demandes sont en cours auprès des Pouvoirs Publics, aussi bien pour des installations de faible capacité dans l'enceinte même de Paris, que pour des dépôts d'importances diverses sur les accotements des routes nationales et sur les emprises de diverses compagnies de chemins de fer en bordure des routes à grande circulation.

Cette organisation, contrôlée dans la mesure convenable par les Pouvoirs Publics, permettra de réaliser, grâce à l'emploi d'un outillage moderne, de très grandes économies dans l'emmagasinage, le transport et la manutention

des combustibles liquides; elle réduira d'autant plus les prix de vente qu'elle rapprochera les vendeurs et les consommateurs; elle assurera progressivement sur l'ensemble du territoire une meilleure répartition des combustibles qui pourront d'ailleurs être conservés sans pertes appréciables.

Les différents dépôts constitueront de véritables stocks de précaution que l'État pourra facilement contrôler et au besoin renforcer si les circonstances l'exigent.

On peut concevoir l'intérêt d'une semblable organisation, tant au point de



Fig. 15. — Kiosque de distribution d'essence sur la voie publique.

vue de la défense nationale qu'à celui de la sécurité des ravitaillements généraux en cas de crise des transports par voies ferrées.

Ce n'est pas ici le lieu de développer longuement les conditions financières de sa réalisation. Cependant, nous pouvons insister sur ce fait que les charges de premier établissement, avec l'outillage le plus moderne, sont moindres que les charges résultant du simple stockage à quantités égales de carburants, en bidons ou en fûts ordinaires.

Au point de vue de l'exploitation, l'économie est encore plus sensible. Les réservoirs souterrains suppriment tout danger d'incendie, de même que les pertes par égouttures et par évaporation; ces dernières pouvant être évaluées à 5 p. 100 avec les procédés actuels. En outre, la distribution

directe et automatique dans les réservoirs des voitures évite la main-d'œuvre, les vols, et économise un temps appréciable.

En Angleterre, le rapport du Sous-Comité des Carburants conclut que le moyen le plus efficace de réduire les prix de vente des essences, consiste à supprimer les frais énormes résultant de la mise en petits bidons, en stockant les carburants dans de grands réservoirs et en multipliant les postes de distribution directe sur les voies publiques.

Nous concevons, pour la réalisation en France d'un tel projet, le concours judicieux de forces exclusivement françaises, telles que les compagnies de Chemins de fer, les grandes associations touristiques, avec les groupes de consommateurs régionaux, des constructeurs français qualifiés, ainsi que des industriels disposant, dès à présent, sur notre territoire, de moyens d'importation et de traitement des carburants divers.

Il n'est pas téméraire d'escompter, pour le printemps prochain, les premières réalisations de ces projets et pour la fin de l'année 1921, l'exécution d'une fraction appréciable du programme d'ensemble, susceptible de contribuer pour sa part au rétablissement de notre équilibre économique.

Pierre Mauclère,
Ingénieur des Arts et Manufactures.

INAUGURATION DU MONUMENT LÉON BOLLÉE

au Mans le 31 octobre 1920.

L'exposition des machines à calculer que la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale a réalisée dans les salles de son hôtel, du 5 au 13 juin 1920 (1), avec les conférences qui l'ont accompagnée, avait pour but de rappeler le souvenir de l'invention centenaire de l'arithmomètre de Thomas de Colmar, la première machine à calculer d'une application véritablement pratique, et de montrer les multiples et considérables développements des appareils de ce genre. Cette manifestation a mis en lumière d'une façon éclatante, à côté de l'invention de Thomas de Colmar, la machine à multiplier de Léon Bollée; les noms des deux grands inventeurs français Thomas de Colmar et Léon Bollée ont reçu le même tribut d'admiration. Par l'application de principes nouveaux et de dispositifs très ingénieux, Léon Bollée a fait preuve d'un véritable génie.

La ville du Mans, dont Léon Bollée était originaire et où il avait ses établissements industriels, a voulu honorer son souvenir et, le 31 octobre 1920, a inauguré un monument élevé à sa mémoire. Léon Bollée s'était consacré au développement de l'automobilisme; il avait été un des pionniers de l'aviation dont il avait prévu l'importance; c'est lui qui a patronné et facilité les premiers essais historiques de Wilbur Wright. L'Automobile Club de l'Ouest a organisé un grand meeting du 28 au 31 octobre, qui s'est terminé par une touchante et solennelle manifestation en l'honneur de Léon Bollée. Les épreuves sportives comportaient : un rallye automobile dénommé Léon Bollée; un concours de consommation et une épreuve d'accélération sur 200 m.

Ce concours, si bien compris au point de vue de l'utilisation pratique de l'automobile, était la préparation la mieux appropriée à l'inauguration du monument Léon Bollée.

M. Le Trocquer, Ministre des Travaux Publics, a tenu à honorer de sa présence la cérémonie. Parmi les discours qui ont été prononcés, il convient

(1) Voir le numéro du *Bulletin* de septembre-octobre 1920 entièrement consacré à cette manifestation.

de citer ceux de M. Maurice d'Ocagne et de M. Le Trocquer, Ministre des Travaux Publics; il paraît utile de les reproduire ici comme un légitime hommage à la mémoire de Léon Bollée, le génial inventeur manceau.

Discours de M. Maurice d'Ocagne.

Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Professeur à l'École polytechnique.

Monsieur le Ministre, Mesdames, Messieurs,

C'est, avant tout, pour la part considérable qu'il a prise à la création de l'industrie de l'automobile que Léon Bollée fera figure, et en belle place, dans l'histoire des grandes inventions modernes.

C'est aussi sans doute pour la collaboration non moins discrète qu'efficace qu'il a su prêter à Wilbur Wright lors de ces mémorables essais du camp d'Auvours, à partir desquels, on peut bien le dire, l'aviation a définitivement pris son essor.

Léon Bollée se trouve avoir ainsi, à titre soit d'initiateur, soit d'éminent conseiller technique, participé dans une large mesure à deux des principales conquêtes de notre temps dans l'ordre de la mécanique, et c'est en raison de l'immense notoriété dont s'est entouré, dès la première heure, tout ce qui se rapporte à ces belles conquêtes que son nom a depuis longtemps acquis une grande et légitime popularité.

Mais c'est peut-être dans une autre partie de son œuvre, moins connue du public, qu'il a fait montre de ses dons les plus étonnants d'inventeur, de ceux qui ont le plus éveillé l'attention et provoqué l'estime des gens de science à son égard; je veux parler de ses travaux si curieux et si remarquables relatifs aux machines à calculer.

L'idée de confier à des machines le soin d'effectuer les opérations de l'arithmétique ne date certes pas d'hier, mais ce n'est que de nos jours qu'elle est devenue familière au grand public, grâce surtout à la forme industrielle que sa réalisation a prise entre les mains des constructeurs américains.

N'oublions pas, pourtant, qu'elle est d'origine française. Les conditions dans lesquelles elle a pris naissance méritent d'être rappelées :

Vers le milieu du XVIIe siècle, un surintendant de Haute-Normandie se plaignait devant son fils de la peine que lui coûtait la vérification de la masse de comptes afférant à sa charge. Le jeune homme, alors seulement âgé de dix-huit ans, se mit en tête d'alléger cette partie de la besogne de son père en imaginant une machine propre à effectuer mécaniquement tous ces comptes. De là est née la première en date de toutes les machines à calculer, construite à Rouen, en 1642, dans un modeste atelier de serrurier, sous la direction du jeune inventeur; elle était apte à effectuer, par le simple jeu d'un ingénieux mécanisme, les additions et soustractions. Ce n'était d'ailleurs pas la première occasion qui s'offrait à ce jeune homme d'émerveiller son entourage par les dons multiples de sa prodigieuse intelligence; il avait déjà, à cette époque, donné la mesure de son génie en reconstituant de lui-même les premiers éléments de la géométrie d'Euclide, que son père, soucieux de ménager chez lui l'ardeur d'un cerveau trop bouillant, s'était efforcé de soustraire à son impatiente curiosité. Ce précoce inventeur n'était autre, en effet, que notre grand Blaise Pascal!

Ce n'est pas un mince honneur pour Léon Bollée d'avoir, à quelque deux siècles et demi de distance, renouvelé sur ce point l'histoire de Blaise Pascal, sans d'ailleurs en avoir la moindre notion. Voici, en effet, comment peut se résumer la genèse de la principale invention de Léon Bollée dans le domaine des machines à calculer :

Son père, fondeur de cloches, se trouvait avoir à exécuter, pour les besoins de la technique de son industrie, un très grand nombre de multiplications. Léon Bollée, alors à peine âgé de dix-huit ans, se mit en tête, lui aussi, d'alléger cette partie de la besogne de son père en imaginant une machine propre à effectuer mécaniquement toutes ces multiplications. De là est née cette étonnante machine, construite au Mans, dans les ateliers Bollée, et qui fit, à l'Exposition universelle de Paris, en 1889, l'admiration de tous les spécialistes.

Curieux et saisissant parallélisme que celui qui se dégage du rapprochement des inventions similaires de ces deux jeunes gens, exceptionnellement doués, au milieu du XVII[e] siècle et à la fin du XIX[e]!

La machine de Pascal était destinée à faire des additions et des soustractions, celle de Léon Bollée, des multiplications et des divisions. Il ne faudrait pourtant pas croire que deux siècles et demi aient été nécessaires pour franchir cet échelon dans l'ordre de l'exécution mécanique des opérations de l'arithmétique. Depuis longtemps déjà des machines existaient au moyen desquelles multiplications et divisions se pouvaient effectuer; mais ces machines procédaient à ces opérations soit par additions, soit par soustractions très rapidement répétées grâce à un mécanisme approprié. L'idée première en avait été émise et même à peu près réalisée, dès le XVII[e] siècle, par Leibniz; mais, conçue de nouveau, et de façon tout indépendante par l'alsacien Thomas, de Colmar, ce n'est qu'entre ses mains qu'elle prit pour la première fois, en 1820, une forme vraiment pratique, dans ce fameux arithmomètre dont, au printemps de la présente année, nous avons, à Paris, célébré le centenaire, à l'instigation et sous les auspices de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale.

Mais, par bonheur, le jeune Léon Bollée, lorsqu'il entreprit ses recherches, ignorait tout des inventions qui avaient, en ce genre, précédé la sienne, et c'est grâce à cet heureux défaut d'érudition que, tirant exclusivement de son propre cerveau les éléments de sa solution, il aboutit du premier coup à combiner une machine procédant non pas par répétition rapide de simples additions ou soustractions, mais directement, par application de la table de Pythagore, comme nous le faisons nous-mêmes la plume à la main. Cette table, gravée dans notre mémoire, se trouvait aussi, en quelque sorte, gravée sous une forme matérielle heureusement appropriée, à l'intérieur de la machine, pour en commander le jeu.

Telle est, dans le domaine des machines à calculer, la principale conquête de Léon Bollée.

Il va sans dire que l'on n'en peut vraiment apprécier l'extraordinaire ingéniosité que si l'on en fait l'objet d'une étude détaillée. C'est elle, je le répète, qui, parmi les spécialistes de cette partie de la mécanique appliquée, a le plus servi à l'illustration du nom de son inventeur. J'ai tenu à commencer par parler d'elle afin de relier son histoire à celle de la machine de Blaise Pascal avec laquelle elle offre de si curieux rapprochements. Mais — et ce n'est pas là le moins surprenant — elle n'a pas, pour Léon Bollée, constitué un coup d'essai. C'est en réalité aux environs de sa dixième

année qu'il a eu spontanément l'idée de combiner des appareils destinés à faciliter les calculs et il avait onze ans à peine lorsque sortait de ses mains une petite machine à additionner très ingénieusement agencée : première étincelle du génie de l'inventeur!

En dehors de ces machines à calculer proprement dites, Léon Bollée a imaginé encore un autre appareil remplissant le même but, bien que dépourvu de véritable mécanisme, car pareil nom ne saurait être donné aux simples glissières qui s'y rencontrent. Cet appareil, dont une manipulation des plus simples permet de disposer les diverses parties suivant l'ordre exigé par les données, porte certaines chiffraisons, d'où, en se conformant à une règle précise, facile à appliquer, on fait ressortir successivement les chiffres du résultat cherché.

Léon Bollée n'est pas le seul à avoir conçu des appareils de ce genre dont certains instruments remontant à la plus haute antiquité, ou même servant encore de nos jours en Extrême-Orient, apparaissent comme de rudimentaires ébauches, et auxquels se rattachent également les bâtons rhabdologiques de Néper, qui datent du début du XVIIe siècle.

Je n'ai pas besoin d'ajouter qu'ici encore la création de Léon Bollée est pleinement originale et ne s'inspire d'aucun exemple antérieur. Mais il est bien remarquable — et, d'ailleurs, strictement juste de rappeler — qu'une idée très voisine de la sienne s'est simultanément présentée à un autre inventeur français, l'ingénieur Genaille, qui, lui aussi, a su la mettre en œuvre sous une forme similaire des plus heureuses.

On conçoit que de tels appareils, propres à simplifier la tâche du calculateur et à la mettre à l'abri de toute chance d'erreur, ne sauraient toutefois atteindre au même degré de rapidité que des machines. Pourtant, au risque de passer pour quelque peu paradoxal auprès des personnes qui ont pu avoir sous les yeux la grande machine à calculer de Léon Bollée, aux rouages d'une si savante complication, et son instrument calculateur tout uniment composé des organes les plus simples, je n'hésiterai pas à déclarer que je ne serais pas loin d'attacher autant de prix à celui-ci qu'à celle-là, en les envisageant sous le rapport de leur conception. Si, en effet, l'on ne rencontre pas dans le second les curieuses combinaisons mécaniques dont on s'émerveille dans la première, on peut, en revanche, y discerner l'emploi de plus fines remarques arithmétiques.

Dans la même voie de recherches, Léon Bollée tenait encore bien d'autres idées en réserve. Il avait bien voulu me confier l'une d'elles, relative à l'exécution de certain calcul plus compliqué que les précédents, portant sur ce que les mathématiciens appellent des différences d'ordre élevé. Bien souvent je le pressais d'y donner suite. Il me répondait en riant : « C'est une poire que je me garde pour la soif. Quand la marche de mes affaires industrielles me laissera quelque repos, j'aurai là de quoi distraire mes loisirs. » Hélas, c'est l'éternel repos qui est venu pour lui avant qu'il ait pris soin de mettre au point cette idée d'un si haut intérêt : perte à jamais déplorable pour la science du calcul mécanique!

Si j'ai tenu à mentionner ce fait, c'est qu'il montre que, chez Léon Bollée, la puissance créatrice, quelque étendue qu'elle nous apparaisse déjà par les œuvres que nous lui avons vu réaliser, débordait encore le cadre où celles-ci restent enfermées. On peut, lorsqu'on se place au seul point de vue scientifique, se laisser aller à quelque regret de ce que l'écrasant labeur industriel qui n'a cessé de peser sur

Léon Bollée ne l'ait pas laissé se livrer exclusivement aux suggestions de ce génie inventif, chez lui toujours en éveil. Mais on ne saurait raisonnablement s'attarder à un tel regret si l'on songe à tous les progrès, d'un bénéfice bien autrement tangible pour la masse du public, qu'il s'est ainsi trouvé à même de semer dans le domaine industriel.

Ce ne serait pas donner une idée suffisamment complète de l'homme qu'a été Léon Bollée que d'exalter ses belles facultés intellectuelles en laissant dans l'ombre ses solides qualités morales. Le cœur était chez lui à la hauteur de l'esprit. La droiture de son caractère, la délicatesse de ses sentiments, sa foncière bonté ajoutaient pour lui, chez tous ceux à qui il a été donné de le bien connaître, une part de profonde et sympathique estime à la vive admiration que lui valaient les dons brillants de son intelligence, et c'est environnée de tout ce rare ensemble de qualités que sa mémoire, si heureusement évoquée par la belle représentation artistique qui vient de se découvrir à nos yeux, doit revivre dans l'esprit de ses concitoyens.

Ayant eu l'insigne bonheur d'unir sa destinée à celle d'une compagne véritablement digne de lui, il ne trouvait de repos à sa laborieuse et féconde activité que dans les joies paisibles du foyer familial. Sur ce foyer, hélas, trop tôt privé de lui, son ombre semble toujours planer tant la touchante piété conjugale qui entoure sa mémoire sait y faire sentir, comme toujours présente, son influence tutélaire.

Messieurs, en célébrant cette mémoire comme elle le fait aujourd'hui, votre cité s'honore elle-même. Attentive à magnifier, sous une forme impérissable, le mérite exceptionnel d'un de ses enfants, elle fixe à tout jamais dans sa propre histoire la page où resteront relatées les géniales inventions par lesquelles il aura contribué au progrès matériel de notre civilisation.

Discours de M. Le Trocquer,

Ministre des Travaux Publics.

Messieurs,

Un pays s'honore et se fortifie lorsqu'il sait trouver dans son passé des motifs d'action pour l'heure présente et des leçons pour l'avenir.

Aussi le spectacle auquel il nous est donné d'assister aujourd'hui est-il singulièrement réconfortant, car s'il est besoin d'une preuve nouvelle de l'attachement que porte la France à la mémoire de ceux qui ont contribué à écrire les pages glorieuses de son histoire, nous la trouverions ici, où une population recueillie vient saluer la mémoire d'un homme dont la vie trop courte fut entièrement consacrée à la science et au progrès.

Nous devons être reconnaissants à ceux qui ont eu la déférente pensée d'élever le monument qui complète dignement l'hommage que, par son nom donné à une de ses avenues, rendit déjà à Léon Bollée la cité qu'il honora.

Je suis heureux de pouvoir aujourd'hui m'associer, au nom du Gouvernement de la République, à cette célébration, et affirmer ainsi que la France tout entière se souvient de l'œuvre de Léon Bollée.

Son œuvre technique, Messieurs, vous la connaissez, vous qui avez suivi jour par jour le travail infatigable de ce savant qui fut un homme d'action. Mais qu'il me

soit permis de rappeler ici combien grande en a été la portée sociale, de quelle utilité elle fut pour l'évolution économique de notre pays d'abord et du monde entier ensuite.

La vie de Léon Bollée fut une lutte perpétuelle pour arracher à la matière quelques-uns de ses secrets, afin de l'asservir ensuite. Et ne devons-nous pas, à ce sujet, unir ici, à sa mémoire, dans un sentiment qui répond, j'en suis sûr, au vôtre, celle de son père, Amédée Bollée, dont la première voiture à vapeur porta un nom qui devait symboliser son œuvre et celle de ses descendants.

L'Obéissante, ainsi Amédée Bollée avait appelé cette voiture, fruit de ses patientes recherches, abouties sous l'ombre pieuse des cloches qu'il fondait.

Ah oui! obéissance des forces de la nature à la volonté de l'homme, obéissance de la matière à l'intelligence. Résultat de cette lutte que mena Léon Bollée, s'inspirant des traditions paternelles. De quelles victoires ne fut-elle pas marquée depuis la prime jeunesse de l'inventeur, jusqu'au jour où une mort précoce en priva notre pays!

Et quel était le but de cette lutte, parcelle de l'effort constant qu'accomplit l'humanité pour le progrès, sinon de conquérir de nouveaux moyens d'améliorer les conditions de l'existence humaine.

Et il n'en est pas de meilleur que celui qui consiste à développer les moyens de communication, à faciliter ainsi aux diverses régions l'échange rapide des produits, à faciliter la répartition des matières premières et des objets fabriqués, à fondre les disponibilités et les besoins généraux, à permettre une diffusion complète de toutes les conquêtes de la pensée, à assurer enfin la pénétration des idées de justice et de liberté qui sont les bases mêmes de notre régime républicain.

En prenant ainsi au développement de l'automobilisme une part prépondérante, Léon Bollée s'est montré un grand citoyen. Il ne faudra jamais oublier, et ce monument est là pour le rappeler, que la première voiturette à pétrole de Léon Bollée fut la préface à toute l'histoire de l'automobile; et n'est-ce pas à celle-ci que nous devons l'extension du tourisme qui, en apprenant à mieux connaître notre pays, fournit l'occasion toujours renouvelée de l'admirer et de l'aimer davantage?

Le rôle de Léon Bollée vis-à-vis de l'aviation ne fut pas moindre. Hélas! fallait-il supposer que tous les efforts accomplis dans un but de paix devaient trouver dans la guerre, au lendemain même de la mort de celui dont nous honorons la mémoire, une douloureuse justification.

Certes, à l'heure actuelle, tous nos regards doivent être tournés vers l'aube féconde de paix qui se lève, mais pouvons-nous ne pas rappeler aujourd'hui le rôle qu'eurent dans la guerre l'automobile et l'avion, ces facteurs hardis de la victoire?

C'est aux services automobiles que l'on doit l'admirable ravitaillement de nos armées qui fut assuré sans un jour de défaillance, même dans les situations les plus critiques; ce sont eux qui rendirent possibles les transports rapides des troupes, un des éléments stratégiques les plus importants. Et il faudrait citer aussi l'œuvre des voitures légères qui ne saurait être oubliée, car il fournit, entre autres choses, la communication rapide des ordres, les reconnaissances fructueuses.

Quant à l'aviation, que dire que tout le monde ne sache!

Tous nous avons devant les yeux l'image de ces héros qui symbolisent pour nous son œuvre; mais ne devons-nous pas leur associer le souvenir de ces novateurs, grâce auxquels furent réalisés les plus utiles instruments de la victoire, lesquels

vainquirent les oiseaux de proie de l'ennemi, jetèrent le désarroi dans les rangs de l'adversaire, fournirent, enfin, aux nôtres, une marche sûre et protégée.

Messieurs, l'œuvre de paix qui, après les heures héroïques et douloureuses, s'ouvre aujourd'hui, nous ne pouvons l'accomplir que par une union constante du travail agissant et de la pensée féconde. Et, là encore, nous retrouvons comme une leçon inscrite sur cette pierre, le nom de Léon Bollée.

Songeons à l'effort intellectuel, inlassable que représente son œuvre, depuis qu'à l'âge de treize ans, il prit son premier brevet pour un vélocipède métallique, dont nous retrouvons le principe dans les appareils qui, récemment encore, furent employés pour la traversée de la Manche. Successivement, sa lumineuse intelligence s'appliqua à la propulsion des canots automobiles auxquels le développement de nos voies fluviales offre un domaine sans cesse agrandi, à la vélocipédie, à l'automobile enfin. Quels efforts! puisqu'à vingt-cinq ans il était possesseur de trente-sept inventions, auxquelles il faut ajouter une ingénieuse machine à calculer, qui fit l'admiration de savants illustres.

Mais cette intelligence créatrice ne resta pas cantonnée dans le domaine des recherches scientifiques. Tout de suite la portée industrielle et, par conséquent, sociale, de ses recherches, s'imposa à lui, et c'est ainsi que nous voyons apparaître toute l'ampleur de cette belle union, de la pensée scientifique et de sa réalisation industrielle. C'est grâce à elle que notre pays fut doté des instruments les plus parfaits de locomotion terrestre et aérienne; c'est grâce à elle, enfin, et seulement, que peuvent être mises en valeur toutes les inépuisables ressources de notre génie national.

Ah! Messieurs, quelquefois n'entend-on pas dire que nous sommes trop attachés à nos habitudes industrielles, que nous avons peine à renouveler notre technique. Ne faut-il pas y voir tout d'abord une preuve de l'attachement de l'industriel et de l'artisan pour ses machines souvent œuvre de plusieurs générations, et sur lesquelles se reporte un peu de l'affection, qui est le lien si noble de la famille française.

Mais l'exemple de Léon Bollée n'est-il pas, là aussi, pour prouver qu'à cet esprit d'attachement à l'instrument de travail, souvent instrument de bonheur et de fécondité, se joint le goût de l'initiative et le génie créateur. Novateur, Léon Bollée le fut dans toute la force du terme; précurseur, il le fut aussi, avec toute la lumineuse clarté qui s'attache à ce mot.

Il le fut dans ses inventions; il le fut, par un symbole étrange, dans son amitié avec Wilbur Wright, cette amitié si belle, si féconde, tout entière dirigée vers les conquêtes scientifiques utiles pour l'humanité. N'était-ce pas ici l'annonce de ce rapprochement fraternel des deux grandes démocraties : les États-Unis et la France, qui devaient, hier, réaliser la victoire; qui, demain, après avoir assuré la paix, accélèreront le progrès.

Messieurs,

Pensée et travail constamment associés, science unie à l'industrie dans le but de doter notre pays de moyens d'existence toujours s'améliorant, effort fraternel de tous les éléments de la nation dont je vois les représentants réunis dans un souvenir commun au pied de ce monument; n'est-ce pas là le faisceau même des idées auxquelles la République doit son épanouissement?

Et je suis heureux que ce soit elles qui s'évoquent naturellement ici, à la veille même des jours où la France s'apprête à fêter unanimement le cinquantenaire d'un régime qui lui a donné la victoire et la liberté.

Inventeur, industriel, Léon Bollée laisse un souvenir que la ville du Mans a voulu perpétuer par un monument digne de sa mémoire. La Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale, qui a signalé et récompensé les mérites de l'inventeur à ses débuts, qui les a rappelés et honorés dans son exposition de machines à calculer, s'associe à la manifestation de la ville du Mans. Pour assurer le développement de l'industrie nationale, il importe que de publics hommages soient rendus à ceux qui, comme Léon Bollée, ont contribué au progrès et préparé l'avenir de la France.

PAUL TOULON.

NOTE DU COMITÉ DES CONSTRUCTIONS ET BEAUX-ARTS

Mesure de la plasticité des mortiers et des bétons.

Le *Bureau of Standards*, qui est un laboratoire d'essais américain, a mis en service un appareil destiné à mesurer la « consistance » ou la « plasticité » des mortiers et des bétons. Cette propriété, jusqu'ici définie de façon assez vague, et dont on n'avait aucun moyen d'obtenir des mesures comparables n'est pas dénuée d'importance.

D'abord, pour un travail déterminé, une certaine « consistance », ou « plasticité », est de rigueur. D'autre part, la résistance d'un béton est en rapport, plus ou moins étroit, avec sa consistance. Il n'était donc pas inutile de pouvoir mesurer celle-ci d'une façon convenable, ni surtout d'en obtenir des mesures, qui pussent être comparées entre elles et donner de la sorte une définition de la propriété envisagée.

L'appareil du *Bureau of Standards* se compose d'un disque horizontal, en bois recouvert de métal, qui est porté par un axe perpendiculaire à son plan et fixé en son centre. Cet axe peut coulisser verticalement dans des glissières, sous l'action d'une came, qui, en tournant sous son extrémité inférieure, le soulève et le laisse retomber.

Pour mesurer la consistance d'un mortier, il suffit de tasser légèrement l'échantillon à essayer, dans un moule tronc-conique, ayant 0,20 m et 0,30 m de diamètres de bases. On pose ensuite la grande base du cône sur le disque, et on démoule. Il ne reste qu'à faire tourner la came de façon à soulever et laisser retomber 15 fois le disque; la hauteur de chute étant de 0,0125. La masse de l'échantillon s'affaisse et s'étale, jusqu'à former une galette plus ou moins épaisse. On mesure alors deux diamètres rectangulaires de cette galette, avec un pied à coulisse spécial gradué de telle sorte que la somme des deux nombres obtenus représente la valeur de la « consistance ».

P. Couturaud,
Ingénieur des Arts et Manufactures.

COMPTES RENDUS

DES SÉANCES DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT

ASSEMBLÉE GÉNÉRALE

DU 8 JANVIER 1921

Présidence de M. Lindet, *président.*

La séance est ouverte à 17 h.

Sont présentés pour devenir membres de la Société et admis séance tenante :

M. Regnault (Baron Édouard), ancien élève de l'École polytechnique, 40, boulevard du Roi à Versailles (Seine-et-Oise), présenté par M. Baclé et M. Lemaire;

la Bibliothèque du Conservatoire national des Arts et Métiers, 292, rue Saint-Martin, Paris (3e), présentée par M. Lindet et M. Sauvage;

M. Levesque (Léon), fabricant de thermomètres et d'ébullioscopes, 5 bis, rue des Haudriettes, Paris (3e), présenté par M. Durieux et M. Lemaire;

les Établissements Maurice-Falck, Épuration des eaux industrielles, 200, quai de Jemmapes, Paris (10e), présentés par Mlle Chrétien et M. Vinsonneau;

M. Mauclère (Pierre), Ingénieur des Arts et Manufactures, 14, rue de Tournon, Paris (6e), présenté par M. Lindet et M. Lemaire;

M. Ishimoto (Keikichi), Ingénieur conseil de la Mitsui Bussan Kaisha, 59, Toyokawacho, Koishikawa-Ku, Tôkyô (Japon), présenté par M. Lemaire;

M. Neyret (André, Christian), industriel, 8, avenue Victor-Hugo, Paris (16e), présenté par M. Henry Le Chatelier.

Le Comité d'Agriculture déclare la vacance de la place occupée au conseil par M. Paul Vincey, récemment décédé.

M. Mauclère (Pierre), Ingénieur des Arts et Manufactures, fait une communication sur *la manipulation pneumatique des liquides et la distribution industrielle des carburants* (1).

(1) Voir à la page 193 du présent numéro le texte *in extenso* de cette communication.

Les appareils de manipulation industrielle des liquides sont ou à pompes, ou à pression de gaz (monte-jus). Les seconds sont d'un emploi courant depuis longtemps pour les acides et, en général, les liquides corrosifs; les premiers, plus simples, ont continué à être employés jusqu'en ces dernières années pour les liquides inflammables, bien que, dans ce cas, ils présentent de graves inconvénients : graissage difficile par suite de la dissolution du lubrifiant dans le liquide pompé; fuites et échauffement des appareils en cas de graissage insuffisant ou de prise de jeu; surpressions dangereuses dans les conduites de refoulement; dangers d'incendie qui peuvent résulter de ces accidents, qui cessent d'être insignifiants quand le liquide est combustible et émet facilement, aux températures ordinaires, des vapeurs formant un mélange détonant avec l'air.

Pour ces différentes raisons, sauf aux États-Unis où l'on paraît vouloir s'en tenir aux pompes, des dispositifs de manipulation pneumatique des liquides avaient été imaginés en Allemagne peu de temps avant la guerre. Ils paraissent devoir être abandonnés en France. D'autre part, le prix élevé des carburants, prix qui ne fera que croître si l'on veut continuer à n'employer que l'essence comme carburant. En effet, ce produit, importé chez nous, verra sa production mondiale nettement déficitaire avant cinq ou six ans. Il faut, et il faudra de plus en plus, recourir à des dispositifs dans lesquels les pertes par évaporation du carburant soient complètement supprimées. Cette condition est remplie dans les nouveaux appareils de M. Mauclère. Quant au danger d'incendie, il disparaît complètement du fait que le gaz employé pour refouler le liquide n'est pas comburant (azote ou acide carbonique) et est constamment en contact avec ce gaz dans le réservoir; de plus, il est toujours à la pression atmosphérique en cas d'arrêt, voulu ou non.

Les nouveaux dispositifs décrits ont des points communs : ceux qui viennent d'être cités, et aussi celui de posséder à la fois les avantages des monte-jus et des pompes sans avoir les inconvénients de ces dernières. Ils comportent deux petits monte-jus conjugués, jouant le rôle de pompes, agissant alternativement pour refouler ou aspirer. Ces monte-jus se remplissent, par gravité le plus souvent; une légère surpression, juste nécessaire au soutirage du liquide pris au réservoir-magasin, n'y règne que pendant la durée de ce soutirage, et seulement pendant le refoulement. Dès que le soutirage est terminé, la pression atmosphérique se rétablit à nouveau dans ces monte-jus, dans toute la tuyauterie et dans le réservoir-magasin.

Dans les petites installations, le gaz inerte, pris à des bouteilles d'acier dans lesquelles il a été comprimé, n'est pas récupéré. Dans les grandes installations, il l'est et il décrit un cycle fermé, grâce à un turbo-compresseur, à fonctionnement automatique, auquel est adjoint un récupérateur de la vapeur qui sature le gaz.

Soutirage et emmagasinage peuvent se faire simultanément.

L'emmagasinage se fait par gravité, le carburant étant apporté, soit par fûts, soit par camions-citernes, soit encore par wagons-citernes; ce cas correspond à celui de grands entrepôts sur route situés en leurs points de tangence avec la voie ferrée.

Dans moins de trois mois, par suite d'un accord avec les Pouvoirs Publics, cette organisation de distribution commencera à fonctionner en France et en Belgique, sur les routes les plus fréquentées par les automobiles. Sur ces routes, on trouvera

des sortes de bornes-fontaines qui débiteront à tout moment la quantité d'essence désirée par le consommateur. Leur service, très simple (manœuvre d'un levier, lecture d'un compteur), sera assuré par un commerçant qualifié dont l'établissement se trouve déjà au bord de la route et en face duquel sera placée la borne.

Une organisation analogue est prévue pour plusieurs grands centres urbains. A Paris, notamment, les bornes-fontaines seront installées dans des kiosques à journaux inutilisés ou désaffectés, ceci pour ne pas augmenter l'encombrement des trottoirs. La question de savoir où doivent être placés les réservoirs, s'ils doivent être enterrés ou sur le sol, est un cas d'espèce; dans l'un et dans l'autre cas, l'emploi des gaz pour la manipulation est à peu près le même. Il convient de noter toutefois que, dans les grandes villes et en particulier à Paris, les règlements tolèrent une quantité d'essence emmagasinée cinq fois plus grande quand le réservoir-magasin est enterré que quand il ne l'est pas.

Bien que les frais d'établissement de semblables installations soient relativement élevés, le calcul montre que la distribution de l'essence reste beaucoup plus économique, le capital engagé étant rémunéré, bien entendu, par ces dispositifs que par l'emploi des bidons et fûts, dont la rotation dure trois mois en moyenne. Le calcul ne tient pas compte des économies réalisées par suite de la suppression des réparations et de la perte de ces récipients, des pertes par fuite ou évaporation du liquide, ni de la diminution d'encombrement dans les dépôts et sur les voies ferrées.

E. L.

M. le Président. — Notre conférencier vient de rappeler qu'en 1913, notre société a fait connaître les résultats obtenus par son collaborateur, M. Rolland et lui, dans l'emmagasinement et la manutention des liquides volatils; j'avais même organisé, cette année-là, des visites industrielles auxquelles les membres de la Société étaient conviés, et qui ont dû être interrompues par la guerre; l'une des plus intéressantes a été celle du dépôt établi à Saint-Ouen par la Compagnie générale des Omnibus.

Depuis, M. Mauclère a utilisé la compétence qu'il avait acquise en cette matière pour construire des appareils susceptibles de se prêter aux exigences commerciales, de recevoir, d'emmagasiner et de débiter, en un mot de tenir boutique. Ces appareils ont déjà fait leurs preuves; ils présentent une sécurité telle que la Loi du 19 décembre 1917, sur les établissements classés, autorise, sous les mêmes conditions, le dépôt d'une quantité d'essence cinq fois plus grande quand elle est emmagasinée en réservoir souterrain que quand elle est déposée en bidons. Nous lui sommes reconnaissants de nous les avoir décrits.

La circulation des automobiles de toutes sortes est aujourd'hui décuple de ce qu'elle était avant la guerre; pour faire face à ce développement, auquel on serait sans aucun doute coupable de vouloir imposer un frein, il est nécessaire de créer de nouveaux procédés d'exploitation, et nous avons accueilli avec intérêt ces projets d'établissement de stations-magasins, de

relais d'essence, sortes de bornes-fontaines où les coureurs de grandes routes viendront puiser quand ils verront baisser le niveau de leurs réservoirs. Mais n'ignorons pas que tout progrès dans l'exploitation des hydrocarbures du pétrole en augmente la consommation et rapproche le terme fatal où la France ne pourra plus se procurer de pétrole; que cette considération soit de nature à créer au plus vite une politique du carburant.

Il est procédé au dépouillement du scrutin pour l'élection du Bureau qui sera en fonctions en 1921, 1922 et 1923.

M. le Président annonce le résultat du vote :

Président :	M. L. Baclé.
Vice-Présidents :	M. A. Rateau.
	M. Carpentier.
	M. Mesnager.
	M. Raphael-Georges Lévy.
Secrétaires :	M. Henri Hitier.
	M. Paul Toulon.
Trésorier :	M. Alby.
Censeurs :	M. Bordet.
	M. Tisserand.

M. Lindet, *président sortant*, prononce les paroles suivantes :

Mes chers Collègues,

Le vote que je viens de proclamer marque le glas de l'ancien Bureau ; la Société perd son président et ses vice-présidents; mais elle en acquiert d'autres qui sauront également donner leurs efforts en sa faveur, et elle conserve son Trésorier, ses Censeurs et ses deux Secrétaires qui maintiendront la tradition. Le Bureau que vous avez élu en 1913 et auquel les événements ont donné une durée exceptionnelle vous adresse ses remerciements et ses adieux.

Vous dire que, personnellement, je descends de ce fauteuil le cœur léger serait de l'exagération ; on ne quitte pas brusquement ainsi une œuvre qui, pendant huit années, a été l'objet d'une préoccupation journalière. Je suis persuadé que machinalement je reprendrai très souvent le chemin de la rue de Rennes; mais il n'y aura pas que mes souvenirs qui m'y conduiront; il y aura toujours en moi le désir de venir en aide à mes collègues chaque fois qu'ils jugeront que mon expérience pourra leur être utile.

Je cède la place à notre nouveau président, M. Baclé.

Quod potui feci; *faciant meliora potentes.*

M. Baclé, *nouveau président*, prend place au fauteuil présidentiel et exprime les remerciements du nouveau Bureau pour l'honneur qui vient de lui être fait. Il assure la Société de son entier dévouement et de son concours pour poursuivre les travaux de la Société, dans la voie, si heureuse et si féconde en résultats, où son prédécesseur l'a menée.

La séance est levée à 18 h. 30 m.

CONSEIL D'ADMINISTRATION

SÉANCE PUBLIQUE

DU 15 JANVIER 1921

Présidence de M. Baclé, *président*.

La séance est ouverte à 17 h.

Est présenté pour devenir membre de la Société et admis séance tenante :

M. Birlé (Ernest), Ingénieur des Arts et Manufactures, 105, rue de Prony, Paris (17e), présenté par MM. Salomon, Sauvage et Lemaire.

M. Baclé, *nouveau président*, prononce les paroles suivantes :

Mes chers Collègues,

Je suis vivement touché du témoignage d'estime et de cordiale sympathie que vous venez de me donner en m'appelant à la présidence de notre Société; vous me faites là un honneur immérité qui m'apporte pour la fin de ma carrière le plus beau couronnement auquel je pouvais aspirer, et je ne saurais trop vous en remercier.

Je ne puis pas vous dissimuler toutefois que j'en suis en même temps quelque peu confus et effrayé, car je vois dans nos rangs un grand nombre de collègues qui, par l'autorité de leurs travaux et de la haute situation qu'ils se sont acquise dans la science ou dans l'industrie, auraient eu certainement beaucoup plus de titres que moi à vos suffrages, et, d'autre part, je crains de me trouver trop souvent empêché de pouvoir apporter aux travaux de la Société la collaboration assidue qui serait nécessaire. La difficulté est pour moi d'autant plus grande qu'il m'est impossible de remplacer, comme il faudrait, notre éminent Président, M. Léon Lindet, auquel je viens

succéder, car il s'est consacré à ces fonctions avec une activité toute particulière et un dévouement de chaque instant, et son passage à la présidence fera époque dans l'histoire de notre Société.

Vous avez jugé cependant que, pour la continuité de l'administration de la Société, il convenait de choisir le président dans le Bureau sortant en le prenant même, d'après la loi habituelle du roulement, dans le Comité des Arts chimiques. Je me suis donc rendu, non sans hésitation, aux instances trop flatteuses de M. le Président Lindet et je n'ai pas besoin de vous dire que j'apporterai au service de la Société toute l'activité dont je serai capable, espérant que mes forces ne me trahiront pas et qu'il me sera possible de répondre ainsi à la confiance dont vous voulez bien m'honorer; mais, avant tout, je compte sur votre indulgence et vous me pardonnerez d'y faire un appel tout spécial.

Permettez-moi en outre d'adresser tous mes remerciements à mes éminents collègues du Bureau qui ont bien voulu accepter la vice-présidence. Ils se sont tous acquis une autorité hors de pair, l'Institut les a appelés dans son sein, et ce sera pour moi un honneur dont je suis confus que d'avoir ainsi l'occasion de travailler avec eux pour assurer l'administration de notre Société. J'ose espérer qu'ils voudront bien accepter de se charger, en cas de besoin, d'une partie de la tâche présidentielle; je compte également sur la collaboration active de nos très distingués secrétaires, MM. Hitier et Toulon, ainsi que sur celle de notre agent général, M. Lemaire, et sur le concours du personnel si dévoué de la Société, et je leur en exprime à l'avance toute ma gratitude.

Et puisque maintenant je parle en votre nom, je m'acquitte d'un devoir qui s'impose à nous et pour lequel je suis certain d'être votre interprète, en exprimant tous nos remerciements aux autres membres sortants du Bureau, spécialement à notre éminent Président M. Léon Lindet. Après la manifestation du 27 novembre, je n'ai certes pas besoin de vous rappeler les services exceptionnels qu'il nous a rendus et de lui dire à nouveau le souvenir ineffaçable que nous conserverons de son passage à la présidence.

La guerre mondiale que nous venons de traverser a profondément bouleversé la situation générale, économique et industrielle de toutes les nations du monde et spécialement de la France; nous voyons aujourd'hui, en effet, notre pays, épuisé par la lutte grandiose qu'il vient de soutenir et surtout par les barbares dévastations dont les régions envahies ont été les douloureuses victimes, s'efforcer de panser ses blessures et de retrouver son activité industrielle passée afin de pouvoir lutter contre la concurrence mondiale devenue aujourd'hui plus menaçante que jamais.

Ce réveil nécessaire de notre activité industrielle s'accompagnera néces-

sairement de recherches techniques, de modifications profondes dans les méthodes de fabrication, dans l'organisation même de l'industrie; toutes modifications encore à l'étude que nous pressentons seulement sans pouvoir les formuler maintenant avec toute la précision désirable, et nous apercevons aussitôt qu'il y a là pour notre Société un sujet d'études et de recherches tout indiqué, susceptible d'apporter les résultats les plus féconds si nous savons dégager les meilleures solutions des difficultés présentes pour le plus grand profit de l'industrie nationale que notre Société a pour mission de promouvoir.

Observons d'ailleurs qu'à bien des égards, la situation actuelle rappelle celle que notre pays traversait au commencement du siècle dernier lors de la création de notre Société, il y a cent vingt ans déjà. Alors, comme aujourd'hui, la France victorieuse, à peine délivrée de l'invasion ennemie, que le courage et le dévouement de ses héroïques enfants avaient réussi encore une fois à repousser, s'efforçait de réparer les ruines de la guerre et de retrouver sa prospérité passée par le développement de sa production industrielle et agricole, car elle prévoyait la lutte économique qui allait venir non moins difficile et dangereuse que la lutte militaire à qui elle succédait. Elle y a heureusement réussi au siècle dernier lorsque la science et l'industrie se furent associées dans une collaboration féconde qui devait donner les meilleurs résultats. Et nous avons assisté, en effet, à une série de découvertes merveilleuses et de progrès techniques qui ont profondément transformé nos industries dans tous les ordres d'activité humaine et modifié même notre civilisation contemporaine qui en a tiré ses caractères essentiels.

Observons en effet que, dans la première moitié du siècle dernier, cette collaboration des savants et des techniciens se rencontrait dans toutes les branches de l'industrie française, et pour la chimie, par exemple, on peut même dire qu'elle en formait chez nous le trait caractéristique.

Les professeurs les plus distingués, les savants éminents dont la France s'honorait alors ne croyaient point déchoir en s'intéressant au travail industriel, et les chefs d'industrie ne croyaient point compromettre leurs intérêts en ouvrant les portes de leurs établissements à des savants comme Vauquelin, Fourcroy ou Gay-Lussac, car ils comptaient avec raison sur les résultats de leurs recherches pour les guider dans la pratique de leur fabrication. Le chimiste Liebig qui, en 1827, rentrait en Allemagne après un séjour de trois années en France, avait su y discerner la cause principale de la supériorité incontestée dont jouissait alors la France, et il s'inspira de cet exemple pour donner à l'industrie allemande l'impulsion nouvelle d'où devaient sortir plus tard ce développement et cet essor merveilleux qui lui ont apporté dans la suite sa puissance exceptionnelle.

A toutes les études et aux recherches qui ont préparé les progrès et provoqué les transformations qu'a subies l'industrie française au cours du siècle dernier, la Société d'Encouragement, doyenne de nos sociétés techniques, a apporté sa collaboration féconde dans la mesure forcément limitée des moyens d'action dont elle pouvait disposer; elle s'est attachée, en effet, à provoquer ces recherches en signalant aux savants les questions qui devaient en faire l'objet, comme elle l'a fait par exemple pour la fabrication du bleu d'outremer par le procédé Guimet dont elle a été directement l'inspiratrice. En même temps, elle appelait dans son sein les auteurs des découvertes les plus remarquables et leur attribuait les récompenses dont elle disposait; elle faisait bénéficier l'industrie entière de leurs travaux en les signalant à tous les intéressés.

Dans ces dernières années, notre éminent collègue, M. Henry Le Chatelier qui, par ses heureuses initiatives, a su rénover l'action de notre Société pour la mieux adapter aux besoins présents de l'industrie, s'est attaché à illustrer par des exemples appropriés les méthodes à suivre pour l'étude scientifique des questions de technique industrielle; il a montré combien il importe de faire une analyse complète et détaillée de tous les facteurs capables d'intervenir dans l'opération étudiée de façon à pouvoir déterminer ensuite, avec toute la précision nécessaire, par des expériences bien conduites, l'influence de chacun d'eux variant isolément pendant que les autres sont maintenus sans changement.

C'est la véritable méthode scientifique qui, convenablement appliquée dans l'opération étudiée, permettra toujours dans la suite d'obtenir avec certitude le résultat visé, en éclairant d'un jour nouveau et nécessaire les méthodes empiriques, les tours de main inexpliqués dont la pratique se contente encore trop souvent.

Voulant enfin appuyer cet enseignement par l'observation des faits, notre Société a provoqué, en les subventionnant, des recherches expérimentales sur diverses questions d'ordre général intéressant certaines industries déterminées, comme le tannage des cuirs, la préparation des pâtes pour papier d'impression, la fabrication des briques de silice, etc., lorsqu'elle a rencontré des savants qualifiés pour effectuer ces recherches. Aujourd'hui, elle met à l'étude deux questions qui présentent un intérêt primordial pour notre agriculture et dont la répercussion s'étend par là même au pays tout entier, c'est d'abord celle de l'utilisation industrielle de l'alcool et de l'emploi d'un carburant approprié, question toujours actuelle, discutée depuis vingt ans, et dont la solution devient aujourd'hui plus urgente que jamais, puis celle de la recherche des métaux les mieux appropriés à la fabrication des divers organes des machines agricoles, question qui s'impose également avec la

même urgence alors que la pénurie de la main-d'œuvre nous oblige à développer par tous les moyens la culture mécanique.

Ce faisant, la Société d'Encouragement croit pouvoir se rendre ce témoignage qu'au cours de son histoire déjà séculaire, s'étendant maintenant entre les périodes qui ont immédiatement suivi ces deux grandes invasions victorieusement repoussées de 1793 et de 1914, entre ces deux grandes dates qui jalonnent l'histoire de la France et qui ont marqué en même temps de leur trace indélébile celle de l'humanité, son action n'est pas restée inféconde, car elle a su contribuer pour sa part à provoquer ces progrès techniques qui ont transformé nos industries et par elles notre civilisation contemporaine, et vous estimerez sans doute avec moi qu'il serait intéressant d'écrire cette histoire, car elle serait un monument élevé à la mémoire de nos prédécesseurs et un enseignement pour leurs successeurs d'aujourd'hui.

Cette évocation du passé pourrait sans doute nous guider utilement dans l'examen des mesures à prendre pour entretenir et développer encore si possible l'activité de notre Société qui doit former l'objet principal de nos préoccupations. Elle apparaît ainsi comme l'un des moyens auxquels nous pourrions recourir à cet effet, mais nous ne pouvons nous dissimuler que c'est là un travail de longue haleine, une entreprise laborieuse qu'il nous sera sans doute très difficile de mener à bonne fin. En tous cas, elle ne saurait faire obstacle à ce que nous examinions directement ce qu'il nous est possible de faire par ailleurs, afin de mieux répondre aux besoins nouveaux résultant de la situation présente, et, si vous voulez bien m'y autoriser en terminant, je convierai chacun de vous, mes chers Collègues, à faire personnellement cet examen, de façon à ce que nous puissions ainsi, à côté de l'étude des deux grandes questions que je viens de vous rappeler, recueillir toutes autres suggestions qui paraîtront les plus intéressantes pour accroître l'autorité de notre Société et développer encore dans l'avenir la collaboration qu'elle a toujours apportée dans le passé à notre industrie nationale dans toutes ses branches d'activité (*Vifs applaudissements*).

M. Verneuil fait une communication sur *l'emploi, en France, des laques d'Extrême-Orient et leurs applications industrielles* (*procédés de la Société des Laques indochinoises*) (1).

La laque d'Extrême-Orient diffère des vernis européens, qui sont des dissolutions de résines ou de gommes-résines dans des solvants, et de la gomme-laque, qui est une sécrétion animale. La laque est un produit entièrement végétal; c'est le latex, sans mélange, d'arbres, cultivés aujourd'hui, appartenant aux espèces du genre *Rhus*.

(1) Voir le texte *in extenso* de cette communication dans le présent numéro, p. 179.

La culture de ces arbres, autrefois prospère au Japon et en Chine, est actuellement en décroissance dans ces pays; elle a pris au Tonkin une importance considérable, et il est actuellement le seul pays exportateur de laque; il en exporte en Chine et au Japon 2.500 t par an. Cette culture paraît indéfiniment extensible car les laquiers prospèrent dans toutes les parties du Tonkin.

Les arbres à laque ont 3 à 4 m de hauteur. Pour obtenir la laque, on pratique sur une longueur d'environ 2 m, d'abord sur un seul côté du tronc, des incisions superposées en forme de V; à la base du tronc, on recueille la laque dans de larges coquilles de moule fluviatile qui sont enlevées toutes les deux heures. Lorsqu'on a recueilli la laque d'un côté du tronc, on pratique les incisions sur l'autre moitié.

A la sortie de l'arbre, la laque est visqueuse, crémeuse de couleur et d'aspect; abandonnée à l'air humide, elle noircit et durcit.

D'après les travaux de Korschelt et du chimiste japonais Yoshida, de Rein, et de M. Gabriel Bertrand, ce latex est une émulsion de laccol dans de l'eau (20 à 30 p. 100) additionnée d'une oxydase, la laccase, contenant en outre 6 p. 100 de gomme et, d'après Rein, Korschelt et Yoshida, des traces d'un acide volatil. C'est cet acide qui occasionnerait les dermites, bénignes d'ailleurs, appelées éruption de laque.

Le latex frais rougit le papier de tournesol; il est soluble dans l'alcool, la benzine, l'essence minérale, le chloroforme, l'éther.

La laque se solidifie à l'humidité; ce fait a été expliqué par M. G. Bertrand, en 1903. Dans une atmosphère humide, l'eau de l'émulsion s'évapore lentement, la laque durcit parce que le laccol s'oxyde sous l'action de la laccase. Dans une atmosphère sèche, au contraire, l'eau s'évapore rapidement et la laccase, cessant d'être dissoute et n'agissant pas à l'état sec, perd tout pouvoir oxydant en présence de l'air. Le durcissement peut aussi s'opérer à 500° environ. Il n'est pas dû alors aux mêmes causes que le durcissement à froid.

La laque adhère à tous les corps. Durcie à chaud, elle adhère mieux aux métaux que durcie à froid et fait alors complètement corps avec eux.

La laque durcie est inaltérable et imperméable à l'eau douce, à l'eau de mer, à l'ozone, aux acides concentrés ou dilués, froids ou chauds, aux bases, aux dissolvants des corps gras. Elle conduit mal la chaleur; son pouvoir isolant électrique est supérieur à celui du mica. Seul l'acide azotique concentré l'attaque à chaud. Quoique très dure, elle conserve sa souplesse et ne se fendille pas. Bien appliquée, ses propriétés ne font que s'améliorer en vieillissant.

M. Verneuil décrit les procédés de laquage employés en Extrême-Orient. Ce sont ces procédés qui ont été appliqués pendant la guerre, par des laqueurs annamites, aux Établissements de Chalais-Meudon, pour le laquage des hélices aériennes.

Ces procédés sont simples, ingénieux, d'une perfection et d'une sûreté remarquables quant aux résultats. Malheureusement, ils exigent beaucoup de temps et une habileté professionnelle qui sont incompatibles avec les conditions de la vie européenne. Aussi la Société des Laques indochinoises a-t-elle étudié un outillage moderne. Le matériel européen employé : au pétrisssage de la pâte de pain, à la filtration des liquides sirupeux; l'aérographe, employé pour l'application de la peinture par pulvérisation, se prêtent très bien, après un choix judicieux des modèles

et certaines modifications, à un travail rapide de la laque. Cette Société a résolu la plupart des problèmes qui lui ont été posés sur des applications nouvelles de la laque : revêtement des cuves à vin ou à bière en ciment armé, fûts de toute sorte, bobines à mouliner la soie naturelle ou artificielle, tableaux de distribution en ardoise laquée, en remplacement du marbre, rare et cher aujourd'hui, pour stations centrales électriques, carrosserie d'automobiles, inducteurs électriques, cuves et bacs employés en poudrerie, en teinturerie ou dans l'industrie des vernis, dessus de tables pour laboratoire, isolement des fils électriques, etc.

Le laquage a été employé avec succès, par M. Verneuil, au Tonkin, avant la guerre, pour la protection des fusées d'obus, la carrosserie des pousse-pousse, pour revêtir d'un enduit continu, lavable, facile à désinfecter, une salle d'opérations de l'hôpital d'Hanoï.

E. L.

M. Baclé, *président*, remercie vivement M. Verneuil de sa communication si intéressante, si documentée. Il lui adresse ses félicitations pour la persévérance et la méthode dont il fait preuve dans l'industrialisation, à la manière européenne, des procédés de laquage extrême-orientaux, et aussi dans les recherches que comporte le laquage, répondant à des besoins nouveaux. M. Verneuil, et son chef éclairé pendant la guerre, M. Guérin, notre collègue, en apportant leur collaboration à la résolution des problèmes que posait la défense nationale, ont été, eux aussi, de bons artisans de la victoire. Il leur exprime toute la reconnaissance que nous leur en devons.

La séance est levée à 18 h. 45 m.

SÉANCE PUBLIQUE

DU 22 JANVIER 1921

Présidence de M. L. Baclé, *président*.

La séance est ouverte à 17 h.

Sont présentés pour devenir membres de la Société et admis séance tenante :

M. Flagel (Jules), Ingénieur diplômé de l'Institut de Nancy, licencié es sciences, 249, boulevard de Strasbourg, Billancourt (Seine), présenté par M. Lemaire;

M. Royer (Paul, Abel, Gabriel), Ingénieur des Arts et Manufactures, administrateur de sociétés, 13, avenue de l'Observatoire, Paris (6e), présenté par MM. Martet, Portevin et Lemaire;

la FABRIQUE PARISIENNE DE MÈCHES AMÉRICAINES ET D'OUTILLAGE DE PRÉCISION, 33, avenue Victor-Hugo, La Courneuve (Seine), présentée par MM. Guillery, Bernard et Lemaire.

M. BACLÉ, *président*, annonce que :

M. Ernest NAU, 110, rue Boucicaut, à Fontenay-aux-Roses (Seine), a déposé le 21 janvier 1921 un pli cacheté relatif à un *type de carte postale exécutée à la main dont le dessin a été créé par lui*. Il en autorise l'ouverture par la Société d'Encouragement six mois après la date du dépôt.

M. BERLEMONT fait une communication sur *l'industrie du quartz fondu et la construction de lampes à arc de mercure en quartz*.

Le conférencier raconte de quelle façon il a été amené, en 1899, à s'occuper pour la première fois du quartz fondu : c'était pour donner satisfaction à Pierre Curie qui avait besoin de petits tubes de 2 à 3 mm de diamètre et de 10 cm de longueur. M. Berlemont entrevit alors l'avenir de l'industrie du quartz fondu en France, où nous possédons une matière première abondante et de première qualité, et les chutes d'eau nécessaires à la production de l'énergie électrique, seule consommée pour l'élaboration du produit.

Cependant, c'est en Angleterre que l'industrie du quartz fondu paraît s'être surtout développée avant la guerre : c'est le Silica Syndicate de Londres qui, jusqu'à la veille des hostilités, nous a fourni la majeure partie des objets en quartz fondu dont nous avions besoin. Ils étaient et sont encore très chers (actuellement 700 f le kilogramme en tubes ou en baguettes); aussi, ses applications sont-elles fort limitées, bien que les propriétés physiques et chimiques remarquables du quartz fondu en fassent une matière extrêmement précieuse pour le chimiste au laboratoire et pour les industries chimiques. Il est infusible aux plus hautes températures usuelles; il est insensible aux changements brusques de température; il est inattaquable par les acides.

La construction d'une bonne lampe à arc de mercure en quartz fondu était désirable depuis longtemps car, seul, le quartz laisse passer les rayons ultraviolets dont on voulait utiliser l'activité photochimique ou bactéricide; la difficulté est d'obtenir que ces lampes tiennent le vide.

Le quartz fond à 1.800°, plus haut que les métaux pouvant être employés comme rhéophore; son coefficient de dilatation est pratiquement nul, alors que celui des métaux est assez élevé. C'est donc par hasard qu'on peut réussir à souder des fils de platine, par exemple, dans une lampe à arc de mercure et faire qu'elle tienne le vide. On a réussi à tourner, en partie, la difficulté en employant l'invar de M. Guillaume et en disposant des bouts coniques rodés intérieurement dans lesquels s'ajustent des rhéophores de ce métal ayant même conicité. C'est la solution adoptée par l'Aktien Elektrizitäts Gesellschaft. Elle est incomplète parce que la lampe tenant le vide ne s'obtient encore qu'exceptionnellement et la nécessité de la basculer pour faire jaillir l'arc, peut la mettre hors d'usage. Elle a

aussi l'inconvénient, si cette lampe doit voyager, de présenter le phénomène du coup de marteau qui la brise.

On rencontre des inconvénients analogues avec le platine iridié qui ne fond qu'à 1.750°, ce qui laisse cependant une marge de 50 degrés pour pouvoir pratiquer la soudure.

Pendant la guerre, en mai 1916, sur la demande du commandant Cornu, de la Télégraphie militaire, et pour les besoins de la défense nationale (télégraphie optique, signalisation, etc.), M. Berlemont a repris la recherche d'un type de lampe satisfaisant, bien que des essais de plusieurs années antérieures ne lui eussent donné que des résultats négatifs. Avec le concours de deux ingénieurs-électriciens, M. Berlemont a réussi à construire une lampe portative, sans vide, à atmosphère de néon ou d'argon, à rhéophores de tungstène, qui s'allume à distance par simple manœuvre d'un commutateur, comme une lampe électrique ordinaire, sans basculement par conséquent, et à coup sûr. La lampe ainsi construite porte le nom de son principal inventeur, M. Henri George.

L'allumage est produit par une résistance en tungstène qui, faisant partie d'un rhéophore, est portée au rouge par le passage du courant dans une atmosphère d'un des deux gaz précités.

La dilatation de ce gaz a pour effet de refouler une partie du mercure des parties basses de la lampe dans un réservoir adjacent et d'interrompre, à un moment donné, la continuité des masses de mercure voisines des électrodes. A ce moment, l'arc jaillit. A 110 V, la lampe consommant 3 à 3,5 A, possède une intensité lumineuse de 1.500 bougies. L'allumage se produit 40 secondes après la mise sur courant; le régime de la lampe est atteint au bout de 5 minutes de fonctionnement.

M. Berlemont expose les applications pacifiques de la lampe en quartz à arc de mercure : stérilisation de l'eau; en thérapeutique, possibilité de déceler certaines maladies de peau invisibles à l'œil; en médecine légale, possibilité de déceler la présence, sur les objets, de certaines marques, invisibles à l'œil, laissées par les liquides organiques; chauffage électrique; construction d'instruments de chirurgie, seringues notamment, pouvant être stérilisés instantanément à une flamme quelconque, au moment de l'emploi; dans l'industrie chimique, fabrication et concentration des acides minéraux usuels.

Le quartz fondu est fourni en tubes et en baguettes parfaitement transparents aujourd'hui car on a réussi à éviter la présence des très fines bulles d'air qui le rendaient un peu laiteux. Elles sont dues à ce que, chauffé à 500°, le quartz éclate en tout petits morceaux qui se soudent ensuite en emprisonnant toujours un peu de l'air interposé entre eux. Les récipients sont généralement en silice opaque.

Le quartz fondu se travaille comme le verre mais au chalumeau oxyhydrique et avec beaucoup plus de difficultés ; des souffleurs habiles arrivent cependant à établir des pièces de forme assez compliquée, rodées le cas échéant, avec une approximation de 1 mm dans les dimensions. On doit employer pour le manipuler des outils en iridium, tous les autres métaux ayant un point de fusion ou de ramollissement inférieur à celui du quartz.

M. Berlemont pense que, dans quelques mois, il pourra fournir du quartz fondu

à des prix assez abordables pour que l'industrie et les laboratoires puissent songer à rendre son emploi presque aussi banal que celui du verre.

E. L.

M. Baclé, *président*, remercie vivement M. Berlemont de cette intéressante communication au cours de laquelle il a résumé devant nous les travaux et les recherches qu'il poursuit depuis vingt années déjà avec tant de persévérance et d'énergie pour le plus grand profit de la science et de l'industrie française, et c'est ainsi qu'il a organisé, au cours de la guerre, certaines fabrications dont l'Allemagne s'était assuré le monopole, comme celle des thermomètres médicaux par exemple.

Au cours de ces travaux, il a même été frappé d'un grave accident qui fait de lui vraiment une victime de la science, et nous sommes tous unanimes pour lui exprimer, avec nos remerciements, nos sentiments d'admiration et de profonde sympathie.

La séance est levée à 18 h. 15 m.

BIBLIOGRAPHIE

La Technique du Mineur, par M. L. MARTEL, Ingénieur civil des Mines, professeur d'exploitation à l'École des Maîtres-Mineurs d'Alais; préface de M. l'Inspecteur général TAUZIN, vice-président du Conseil général des Mines, président de la Société de l'Industrie minérale, ancien Directeur de l'École nationale des Mines de Saint-Étienne. Tome I : *Notions générales, abatage, soutènement*; Tome II : *Creusement des galeries et des tunnels, fonçage des puits en tous terrains.* Deux vol. In-8 (25×16) de 352 et 198 p., avec 455 fig., à Alais, chez l'auteur; Paris, Dunod, édit., 1920 (prix : 67,50 f).

La Technique du Mineur que vient de publier M. L. Martel, professeur à l'École des Maîtres-Mineurs d'Alais, n'est pas à proprement parler un traité d'exploitation, mais un chapitre — et l'un des plus importants — de l'art des mines, celui du creusement des puits, galeries et chantiers ainsi que du forage des trous de mines qui permettent de l'exécuter. L'auteur a donc laissé entièrement de côté les méthodes d'exploitation et le choix qu'on en doit faire suivant l'allure des couches, ainsi que les questions de transports souterrains, d'aérage et de préparation mécanique qu'il se propose sans doute de traiter ultérieurement dans un autre ouvrage; il n'aborde pas non plus dans son traité l'emploi des explosifs qui a fait l'objet d'un autre ouvrage du même auteur publié en 1918, et dont une seconde édition a paru en 1920.

C'est la théorie et surtout la pratique des *excavations souterraines* que M. Martel a entrepris d'exposer de la façon la plus détaillée dans sa *Technique du Mineur.* Après avoir défini et classé rapidement les gisements, puis indiqué en quelques mots ce qui constitue une mine, l'auteur étudie successivement dans les deux volumes qui constituent sa nouvelle œuvre :

1° Les modes d'attaque des roches et les outils employés à cet effet, les procédés mécanique d'abatage, la détermination de l'emplacement et de la direction des trous de mines dans chaque genre de chantier, puis leur exécution soit par les outils à main, soit par les perforateurs mécaniques à air comprimé ou électriques;

2° Le soutènement des galeries, puits et tailles par boisage, par muraillement ou par engins métalliques;

3° Le creusement des galeries en terrains ébouleux, inconsistants ou coulants, et le percement des tunnels dans les terrains les plus variés;

4° Le fonçage et l'agrandissement des puits dans les diverses conditions pouvant se présenter dans la pratique : en terrains consistants non aquifères, en terrains inconsistants et en terrains solides aquifères avec épuisement;

5° Les différentes sortes de cuvelage avec étude détaillée de leur pose, l'emploi de l'air comprimé, de la congélation et de la cimentation, enfin les différents modes de fonçage à niveau plein : procédé Kind-Chaudron, fonçage par trousse coupante et fonçage « à l'eau lourde » — cet exposé se terminant par une comparaison très judicieuse des différents procédés de fonçage en terrains aquifères, et par l'indication

du choix à faire entre ces procédés, dans les cas les plus variés que l'ingénieur peut rencontrer dans sa carrière.

Chaque chapitre, d'un exposé net et clair, est suivi d'un index bibliographique très complet des ouvrages et des mémoires relatifs à la matière que traite le chapitre; ces documents sont classés par ordre chronologique, ce qui permet au lecteur de se mettre au courant des derniers progrès réalisés dans la technique du mineur et d'embrasser en même temps d'un coup d'œil les étapes parcourues dans cette technique depuis une quarantaine d'années.

Grâce à son mode de composition, l'ouvrage de M. Martel pourra rendre ainsi les plus grands services non seulement aux praticiens, ingénieurs de puits et contremaîtres, auxquels il s'adresse plus particulièrement par l'abondance de ses détails opératoires et des figures qui les illustrent, mais encore aux professeurs d'exploitation des mines qui trouveront réunie dans la « Technique du Mineur » la documentation la plus riche qu'on puisse souhaiter sur la branche particulière de l'art des mines que l'auteur y a étudiée, avec une compétence et une précision auxquelles a rendu l'hommage le plus mérité l'éminent vice-président du Conseil général des mines, M. l'Inspecteur général Tauzin, dans la préface qu'il a bien voulu écrire pour présenter au public spécial des mines le nouvel ouvrage de M. Martel.

G. Chesneau.

Le platine et les gîtes platinifères de l'Oural et du monde, par M. Louis Duparc, professeur à l'Université de Genève, et Marguerite N. Trikonowitch. 1 vol. in-4, de VI + 552 p., avec 99 fig., 90 clichés hors texte et XI pl.; et atlas de 5 cartes et VIII pl. Genève, Société anonyme des Éditions « Sonor », 46, rue du Stand, 1920 (prix : 300 f).

Cet important ouvrage traite principalement des exploitations de platine de l'Oural, et accessoirement des gîtes platinifères du monde entier en dehors de ceux de l'Oural, et entre autres des minerais de la Colombie équatoriale appelée à un certain avenir de ce chef. On y trouve la description très complète de la chaîne de l'Oural au point de vue topographique et géologique, et l'exposé des études pétrographiques des roches éruptives qui affleurent dans cette chaîne, et plus particulièrement de la roche mère du platine, qui est une dunite, c'est-à-dire une péridotite ne contenant que de l'olivine avec un peu de fer chromite. Elle est incluse dans des diabases et des gabbros. Des pyroxénites à olivine contiennent aussi du platine, mais en proportions insuffisantes pour alimenter les alluvions, lesquelles sont les seuls gisements exploitables. La dunite est, en effet, beaucoup trop pauvre en platine pour être directement exploitée.

Le platine natif, qui est dispersé dans la dunite, et aussi en ségrégation dans la chromite, se trouve en pépites de toute grandeur dans les couches sableuses inférieurs des alluvions des rivières et vallées de l'Oural, et les gisements en relation avec les massifs de dunite. Les exploitations se trouvent toutes situées dans le gouvernement de Perm et distribuées dans onze centres répartis sur 500 km de longueur au nord d'Ékaterinebourg.

L'ouvrage comporte de grands détails sur la composition et l'analyse du minerai, dans lequel le fer, le cuivre, et des métaux rares : iridium, osmium, ruthenium, palladium et or se trouvent associés au platine.

Tous les gîtes dunitiques de l'Oural sont décrits en détail, ainsi que les gîtes secondaires exploités. L'ouvrage fait connaître tous les procédés d'extraction depuis l'exploitation par les maraudeurs et par les petits tâcherons (staratelis) jusqu'aux grandes exploitations à l'aide de dragues puissantes actionnées par l'électricité. Les gîtes pyroxéniques sont aussi étudiés et décrits complètement.

Les auteurs passent également en revue les gisements européens d'Espagne, de France, d'Allemagne et d'Autriche, ainsi que ceux de l'Amérique du Sud, de l'Amérique centrale, de l'Amérique du Nord, de l'Océanie, de l'Asie, de l'Afrique. Ils n'admettent pas que le platine existe à Madagascar comme on l'a prétendu.

Le traitement du minerai brut, la métallurgie du platine sont décrits dans un chapitre spécial, comportant aussi des indications très complètes sur les procédés de séparation des divers métaux associés au platine.

L'ouvrage se termine par l'indication de tous les emplois du platine dans l'industrie, l'art dentaire, la bijouterie, le laboratoire, et par quelques indications d'ordre statistique sur les productions ouralienne et mondiale du platine. Au texte, qui contient, avec les résultats des recherches personnelles des auteurs, l'exposé de tout ce qui était connu avant ces recherches sur la question du platine, est annexé un atlas composé de cartes géologiques de détail des différents centres platinifères de l'Oural et de planches figurant les installations d'extraction, de lavage et de traitement du minerai.

En un mot, l'ouvrage de L. Duparc et Marguerite Trikonowitch est un traité complet du platine contenant tous les renseignements désirables sur l'origine, la nature et la composition du minerai de platine, sur le traitement de ce minerai, sur les emplois du métal, et sur les conditions de sa production.

H. Le Chatelier.

Amélioration des plantes cultivées et du bétail. Applications de la génétique à la sélection des races et à la production des variétés nouvelles en agriculture et en horticulture, par M. E. Coquidé, Ingénieur-agronome, docteur ès sciences et agrégé ès sciences naturelles. (Encyclopédie agricole), de 607 p., avec 120 fig. Paris, J.-B. Baillière et fils, 1920.

La belle collection de « l'Encyclopédie agricole », dirigée par notre distingué collègue M. Wéry, vient de s'enrichir d'un important ouvrage intitulé *L'amélioration des plantes cultivées et du bétail*, écrit par M. Coquidé, Ingénieur-agronome, docteur ès sciences et agrégé ès sciences naturelles.

C'est, à notre connaissance, le premier essai d'une présentation d'ensemble des méthodes de la génétique agricole. On sait combien les questions de sélection des races et de production de variétés nouvelles intéressent l'agriculture ; leur connaissance est limitée à un petit nombre de spécialistes; le livre de M. Coquidé servira beaucoup à leur vulgarisation et à leur diffusion dans le public agricole.

Envisageant la génétique dans toute son étendue et sa complexité, l'auteur expose les méthodes les plus anciennes (sélection des sujets d'élite, adaptation de l'être vivant au milieu, gymnastique fonctionnelle, etc.) comme les plus modernes (isolement des lignées pures, sélection en masse, applications du mendélisme...) et enfin l'emploi combiné de plusieurs méthodes.

Il fait connaître les divers procédés que l'on peut mettre en œuvre pour améliorer

les races végétales et animales; à propos de chaque méthode et à l'appui de leur efficacité, il cite quelques exemples typiques des résultats obtenus, empruntés soit aux végétaux, céréales, plantes fourragères, arbres fruitiers et forestiers, soit aux animaux, bovidés et ovidés, équidés, chiens, oiseaux de basse-cour, végétaux ou animaux de nos pays ou bien exotiques. Le lecteur peut ainsi se rendre compte de la généralité des méthodes et discerner si telle pratique appliquée avec succès dans certains cas est susceptible de rendre des services dans un autre cas.

L'énumération des améliorations obtenues par les divers procédés de la génétique est loin d'être complète ; il eût fallu pour cela plusieurs volumes; celui de M. Coquidé qui comporte plus de 600 p. s'attache surtout à exposer et à décrire des méthodes.

Ce n'était pas chose facile que de présenter clairement des notions qui exigent des connaissances assez approfondies en botanique et anatomie animale. Aussi l'auteur prend-il chaque question dès sa base pour la développer graduellement, allant du simple au composé, de la fluctuation à la mutation, des races pures aux races croisées, du croisement mendélien au croisement en mosaïque, du métissage à l'hybridation, de l'emploi des méthodes simples à l'emploi combiné de plusieurs méthodes.

M. Coquidé a eu raison de mettre le lecteur en garde contre les engoûments exagérés; trop souvent on a cru qu'un procédé nouvellement trouvé allait donner la clef de toutes les améliorations et qu'on pourrait en quelque sorte façonner sur mesure des races animales ou végétales. Or, l'auteur montre que bien des succès n'ont été qu'éphémères; les phénomènes biologiques sont très complexes et nous sommes loin de connaître tous les moyens par lesquels réagit la nature; ces facteurs sont d'une variété qui défie toute prévision. Aucune des méthodes n'est infaillible et le génétiste doit être en même temps qu'un savant, un praticien consommé et un observateur doué d'une grande sagacité.

L'ouvrage de M. Coquidé représente un travail considérable, une documentation énorme et une vaste érudition. La mise au point d'une question aussi étendue et aussi complexe est une tâche très difficile; on doit savoir gré à l'auteur de l'avoir entreprise, rendant ainsi un réel service à la science et à la pratique agricoles.

A. Ch. Girard.

Les nouvelles dispositions relatives aux bénéfices de guerre (lois du 25 juin 1920, du 29 juin 1920, du 31 juillet 1920), par M. Maurice Arnitz, expert-comptable près le Tribunal civil de la Seine. Un vol. broché (14×22 cm), 195 p. Marcel Rivière, éd., 31, rue Jacob, Paris (6e) et chez l'auteur, 12, rue Littré, Paris (6e), 1920 (prix 10 f).

M. Maurice Arnitz, expert-comptable près le Tribunal de la Seine, s'est proposé, dans ce livre, fort bien fait, de mettre à la portée des industriels, des commerçants et de tous les comptables officiels ou indépendants, bref, de tous ceux que pouvaient intéresser les lois fiscales sur les bénéfices de guerre, un commentaire très serré, clair et conçu d'une manière absolument pratique. Il indique nettement la situation actuelle des contribuables atteints par la loi, ce qui n'est pas toujours facile à démêler dans l'enchevêtrement des textes différents votés à tant de reprises depuis la loi du 25 juin 1920.

Tous les textes officiels traitant des bénéfices de guerre sont reproduits intégralement, mais en même temps expliqués d'une manière aussi claire que possible.

Après une courte préface, l'auteur fait l'historique de la loi du 25 juin 1920, en insistant particulièrement sur les articles 12 à 20 qui modifient et complètent la loi du 1er juillet 1916, celle par laquelle fut établie la contribution extraordinaire sur les bénéfices exceptionnels ou supplémentaires réalisés pendant la guerre. Toutes les dispositions importantes sont analysées et commentées.

Cette loi du 25 juin 1920 fixait au 30 juin suivant, le terme extrême du régime créé par la loi du 1er juillet 1916, elle exonérait diverses catégories de commerçants et industriels de la contribution extraordinaire ; elle fixait des délais pour la revision des impositions, et pour l'adoption définitive des chiffres auxquels pouvait s'élever la contribution extraordinaire; elle décidait que la revision des amortissements devrait être opérée avant cette date; enfin, elle accordait en outre aux contribuables un nouveau délai dit de faveur pour faire les déclarations omises par eux jusque-là. Passé ce délai, elle décidait qu'aucune détaxe pour déficit ne serait plus accordée.

Elle indiquait en même temps les modalités à employer pour le paiement de la contribution extraordinaire, et insistait sur la possibilité pour les contribuables d'obtenir des sursis en vue du paiement des troisième et quatrième quarts.

L'auteur insistait sur l'avantage important qui était accordé aux assujettis d'imputer les contributions qu'ils avaient à payer sur les indemnités qui leur étaient dues pour dommages de guerre et les autorisait à s'acquitter en titres des emprunts de guerre français.

M. Arnitz s'élève violemment contre le maintien en vigueur de la loi du 1er juillet 1916 jusqu'au 30 juin 1920. Il fait très justement ressortir les effets désastreux de cette mesure qui était uniquement de nature à décourager beaucoup d'initiatives et à arrêter quantité de nouvelles entreprises dont la création fut, en effet, retardée.

Un grand nombre d'intéressés ont attendu cette date pour mettre à exécution leurs projets de création d'établissements industriels ; les produits qu'ils auraient pu jeter sur le marché plusieurs mois auparavant n'y sont pas venu prendre place et cela a certainement contribué à faciliter la hausse et l'augmentation constante du prix de la vie. D'autres personnes ont attendu en végétant et en cherchant à réaliser les bénéfices maxima qu'ils pouvaient entrevoir, la date fatidique, pour céder leurs fonds de commerce.

Des inconvénients plus graves encore ont été le résultat de cette prorogation inattendue. Quantité d'industriels détenteurs de stocks n'ont pas voulu les vendre, afin de diminuer leur chiffre d'affaires, ayant à peu près la certitude, en agissant ainsi, de contribuer encore à la hausse et de se débarrasser ensuite à un prix d'autant plus élevé, sans que ces bénéfices énormes pussent être imposés par l'État.

Beaucoup se sont livrés à des dépenses somptuaires qu'ils ont inscrites dans leurs frais généraux, achetant à n'importe quels prix, puisque c'était aux frais de l'État qu'ils pouvaient s'offrir ce luxe souvent malfaisant.

L'auteur fait remarquer avec juste raison combien il est regrettable que, dans le nouveau texte, le législateur ait continué à estimer comme bénéfice normal, celui qui avait été réalisé pendant les 3 exercices antérieurs au 1er août 1914; il fait ressortir que, pour beaucoup d'industries, ces années qui ont précédé la guerre se sont au contraire écoulées dans des conditions anormales.

Nous ne partageons pas tout à fait sa manière de voir au sujet de l'insistance

qu'il met à établir que tout ayant augmenté, les bénéfices normaux auraient dû être considérés comme devant atteindre des limites beaucoup plus considérables ; ce n'est pas juste dans tous les cas ; il y a là des questions d'espèces.

La loi de Finances du 31 juillet 1920 qui a complété par ses articles 6 à 11 les dispositions de celle du 25 juin 1920 en ce qui touche les sommes versées en compte courant dans une société par les associés et qui a visé à solutionner la question épineuse de l'évaluation des stocks au 30 juin 1920, est examinée avec le plus grand soin et, afin que les directions soient plus claires, l'auteur cite de nombreux exemples qui rendent beaucoup plus intelligibles tous ces textes de lois.

M. Arnitz termine en rassemblant tous les textes de lois se rapportant à cette question de la contribution extraordinaire sur les bénéfices exceptionnels ou supplémentaires réalisés pendant la guerre.

Nous estimons que ce livre rendra les plus grands services à tous ceux qui sont justiciables de la loi du 1er juillet 1916 et qu'ils ne regretteront pas de se l'être procuré.

GEORGES RISLER.

Technique des Pétroles, par R. COURAU, ancien ingénieur au Corps des Mines, ancien membre du Comité général des Pétroles. In-16 (13×19 cm.) de 406 p., 125 fig., 19 pl. hors texte. Paris, Gaston Doin, édit., 1921 (prix 16 f).

Le rôle décisif joué dans l'issue de la grande guerre par les avions, les tanks et les tracteurs sur route qui, tous, sont actionnés par des moteurs à essence, l'emploi croissant du mazout dans les marines de guerre et de commerce, ont imprimé dans l'esprit public, de façon précise ou confuse, cette idée nouvelle que la maîtrise du pétrole assurera l'empire du monde à qui la possédera : tout livre nouveau parlant des huiles minérales est donc voué au succès, surtout lorsque, comme c'est le cas de l'ouvrage de M. R. Courau, il est d'une documentation impeccable, et émane d'un ingénieur auquel sa situation a permis d'étudier personnellement tous les côtés de la question qu'il traite, dans l'une des exploitations de pétrole les plus complètes qui existent, celle de Pechelbronn en Alsace, amenée par son éminent directeur, M. de Chambrier, a un degré de perfection sans égal.

La *Technique des Pétroles* de M. R. Courau est, comme nous l'apprend l'auteur dans une brève note, la rédaction développée et mise au point du cours qu'il a professé à l' « École technique des Pétroles de Pechelbronn » fondée le lendemain du jour où l'Alsace a fait retour à la France. S'adressant à un public pour qui bien des points dans la question des pétroles étaient obscurs ou inconnus, M. Courau les a tous abordés, traitant à fond ceux que doit connaître entièrement l'exploitant de pétrole, donnant sur les autres les clartés nécessaires pour que cet exploitant ne reste jamais à court devant un problème nouveau surgissant dans sa carrière ; c'est ce que montrent bien les titres des différents chapitres composant son ouvrage :

Géologie et prospection des pétroles ;

Sondages au pétrole (partie naturellement la plus développée et représentant plus du quart de l'ouvrage) ;

Exploitation par puits et galeries (ce mode d'exploitation, tout nouveau dans la technique du pétrole, imaginé et mis en pratique pour la première fois, par M. de Chambrier, dans les mines de Pechelbronn) ;

Législation;

Classification des huiles minérales;

Chimie des pétroles;

Essais des huiles minérales et de leurs dérivés;

Traitement industriel des huiles minérales (méthodes et matériel);

Stockage et transport des huiles minérales;

Chauffage au mazout.

D'une grande clarté d'exposition, le livre de M. R. Coureau est d'une lecture facile aussi bien pour le profane que pour le technicien; il arrive donc à point pour combler une réelle lacune qui existait dans la documentation française sur le pétrole, car aucun ouvrage récent publié chez nous, ne permet, comme celui de M. Courau, de trouver sous un volume réduit toutes les notions nécessaires à qui veut se mettre au courant d'une industrie occupant une place chaque jour croissante dans le développement de l'activité humaine.

G. CHESNEAU.

OUVRAGES REÇUS A LA BIBLIOTHÈQUE

EN JANVIER 1921

GOUIN (ANDRÉ) et ANDOUARD (PIERRE). — **Élevage intensif. Veaux et porcs. Lait et viande** (*Nouvelle bibliothèque du cultivateur*). In-12 (19 × 12) de 159 p. Paris, Librairie agricole de la Maison rustique, 1920. **16170**

MAUPAS (ALBERT). — **Quelques précisions sur les méthodes culturales d'outre-Rhin. Un type de petite ferme allemande moderne** (1918). In-8 (25 × 16) de VII + 107 p., 7 fig. Paris, Librairie agricole de la Maison rustique, 1920. **16171**

MERTZ (J.) et DESMOULINS (J.). — **Le paiement du lait suivant sa richesse en matière grasse,** suivi d'un exposé sur la pasteurisation des crèmes et son utilité. In-8 (24 × 19) de 108 p., 8 fig., III pl. Paris, Librairie agricole de la Maison rustique, 1920. **16172**

PACORET (ÉTIENNE). — **La technique de la houille blanche.** 3e édit. In-8 (25 × 16). Tome III : **Utilisation de l'énergie des chutes d'eau. Matériel de production et de transformation de l'énergie électrique. Transport électrique à haute tension,** p. 1663 à 2663, fig. 1020 à 1696, pl. XVI à XXIII. — Tome IV : **Utilisation de l'énergie des forces hydrauliques. Application générale de l'énergie électrique. Usines centrales et usines locales,** p. 2664 à 3307, fig. 1697 à 1961, pl. XXIV. Paris, Dunod, 1920. **16173-4**

EIFFEL (G.). — **Études sur l'hélice aérienne faites au Laboratoire d'Auteuil.** In-4 (33 × 25). Texte, XVI + 304 p., 152 fig. ; Atlas, de XXVII pl. Paris, Librairie aéronautique, Chiron, 1920 (*Don de M. G. Eiffel, membre de la Société*). **16175-6**

CHAMBRIER (PAUL DE). — **Exploitation du pétrole par puits et galeries.** In-8 (21 × 13) de 106 p., 5 fig., 1 carte; **Bibliographie,** p. 103-104. Paris, Dunod, 1921 (*Don de M. Paul de Chambrier, membre de la Société*). **16177**

CHAMPDECLER (MAURICE). — **Le modelage mécanique,** à l'usage des fondeurs, modeleurs, mouleurs, bureaux d'études. In-4 (28 × 19) de 115 p., 90 fig., XXXVII pl. dont 3 en couleurs. Paris, Dunod, 1920. **16178**

ROUCH (J.). — **Manuel pratique de météorologie** 2e édit. In-8 (22 × 13) de VIII + 147 p., 25 fig., XVI pl. Paris, Masson et Cie, 1921. **16179**

ROUCH (J.). — **Préparation météorologique des voyages aériens.** In-8 (24 × 16) de 60 p., 18 fig. Paris, Masson et Cie, 1920. **16180**

ROUCH (J.). — **Le compas de navigation aérienne.** In-8 (25 × 16) de 72 p., 40 fig. Paris, Masson et Cie, 1921. **16181**

*
* *

LOISY (E. DE). — **La consommation de charbon dans la grosse métallurgie** (*Mémoires de la Société des Ingénieurs civils de France*, avril-juin 1920, 54 p., avec XIV tableaux). **Pièce 12590**

COPPADORO (ANGELO). — **Sulla determinazione dell' acido tartarico per via polarimetrica** (*Giornale di chimica industriale ed applicata*, novembre 1920, 4 p.) **Pièce 12591**

GIGNOUX (M.) et HOFFMANN (C.). — **Le bassin pétrolifère de Péchelbronn** (Alsace). **Étude géologique** (*Bulletin du Service de la Carte géologique d'Alsace et de Lorraine*. Tome I, 1920, n° 1, 46 p., 3 fig., III pl.; *Bibliographie*, p. 43-44). **Pièce 12592**

Note sur les Usines de Biache-Saint-Vaast, appartenant à la SOCIÉTÉ ANONYME DES FONDERIES ET LAMINOIRS, entièrement détruites par les Allemands en 1917-1918 (*Revue de Métallurgie*, novembre 1920, 14 p., 21 fig.). **Pièce 12593**

FREMONT (CH.). — **Causes des ruptures d'attelages** (Études expérimentales de technologie industrielle, 55e mémoire). In-4 (27 × 22) de 14 p., 15 fig. Paris, chez l'auteur, 25, rue du Simplon, 1921 (*Don de M. Ch. Fremont, membre de la Société*). **Pièce 12594**

Sir Norman Lockyer, May 17, 1836 — August 16, 1920 (*Nature*, August 19, 26, and september 2, 1920). In-18 (18 × 12) de 59 p. **Pièce 12595**

* * *

COLONIE DE MADAGASCAR ET DÉPENDANCES. — **Bulletin économique** publié par les soins du Gouvernement général. **Année 1920**, 3e et 4e trimestres. Tananarive, 1920. **Pér. 446**

IRON AND STEEL INSTITUTE. — **Journal. 1920**, n° II. Vol. CII. London, 1920. **Pér. 157**

IRON AND STEEL INSTITUTE. — **Carnegie Scholarship Memoirs**. Vol. **X, 1920**. London, 1920. **Pér. 157**

NEW YORK STATE DEPARTMENT OF LABOR. — **Annual Report of the Industrial Commission, 1919**. Albany, 1920. **Pér. 128**

NEW YORK STATE DEPARTMENT OF LABOR. — **Industrial Code, 1920**. **Pér. 128**

MINISTÈRE DES FINANCES (TÔKYÔ). — **Annuaire financier et économique du Japon. 1919**. 19e année, Tôkyô, Imp. impériale. **Pér. 90**

ROYAL SOCIETY OF LONDON. — **Reports of the Grain Pests (War) Committee**, nos 2 à 8 (1918-1920). London. **Pér. 41**

NATIONAL PHYSICAL LABORATORY. — **Collected Researches**. Vol. XIV, **1920**. London, 1920. **Pér. 62**

ROYAUME DE BELGIQUE. MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE, DU TRAVAIL ET DU RAVITAILLEMENT. Secrétariat général. — **Statistique des accidents du travail**, élaborée d'après les documents fournis en exécution de la loi du 24 décembre 1903 sur la réparation des dommages résultant des accidents du travail. **Année 1909**. Bruxelles, J. Lebègue et Cie; Albert Dewit, 1920. **Pér. 277**

Almanach de la Gazette du village et Almanach du Jardinier. 16e année, **1921**. Paris, 26, rue Jacob. **Annuaire**

U. S. BUREAU OF LABOR STATISTICS. — **Bulletins nos 252, 258, 261**. Washington, 1919, 1920. **Pér. 35**

SMITHSONIAN MISCELLANEOUS COLLECTION. — Vol. 69, n° 1 (publication 2493) : *Smithsonian Meteorological Tables*. 4th ed. — Vol. 67, n° 6 (publ. 2580). — Vol. 69, n° 5 (publ. 2498). — Vol. 70, n° 4 (publ. 2537). — Vol. 72, n° 1 (publ. 2581); n° 3 (publ. 2583). Washington, 1920. **Pér. 27**

BUREAU OF STANDARDS. — **Miscellaneous publications, n° 41** : *Weights and Measures*. — **Scientific Papers, nos 366, 367, 371, 372, 374, 375, 376, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 388, 389, 390, 391, 394**. — **Technologic Papers, nos 152, 158, 160, 161, 162, 163, 164, 168, 171**. — **Circulars, nos 40** (3d ed.), **89, 90, 91, 92, 93, 94, 96, 97, 98**. Washington. **Pér. 61**

SOCIÉTÉ D'ÉCONOMIE POLITIQUE. — **Bulletin**. Année **1920**. **Pér. 55**

GRAND QUARTIER GÉNÉRAL. INSPECTION GÉNÉRALE DE L'ARTILLERIE. — **Bulletin de Renseignements de l'Artillerie**. (19 × 25 cm) nos 1 (sept.-octobre 1917) à 20 (août-septembre 1919). — Imprimerie nationale, Paris. (*Ce Bulletin, qui était secret, a remplacé depuis le mois d'août 1914 jusqu'à la fin de 1919, l'ancienne* Revue d'Artillerie *qui a commencé à reparaître en 1920; il est classé à la même cote de périodique que cette revue.*) **Pér. 360**

L'agent général, gérant,
E. LEMAIRE.

Coulommiers. — Imp. PAUL BRODARD.

BULLETIN

DE

LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT

POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

ESSAI A L'EMBOUTISSAGE DES TÔLES MINCES

Depuis longtemps des tôles de toutes épaisseurs ont été essayées à l'emboutissage.

C'est là un essai de *façonnage*, c'est-à-dire qu'il est effectué d'une manière analogue au façonnage que devra subir la tôle chez le constructeur; son but est de renseigner sur la manière dont le métal se comportera sous les déformations effectuées plus ou moins habilement par l'ouvrier.

Mais le résultat de cet essai ne permet pas de présumer comment résistera *en service* la pièce fabriquée avec la tôle ainsi essayée.

Les tôles destinées, dans l'industrie, à être embouties doivent en général avoir une plus grande ductilité que les tôles qui sont destinées à être simplement cintrées, et, quand leur ductilité est insuffisante, elles se fissurent et parfois se déchirent localement pendant l'allongement. Mais l'adresse de l'ouvrier chaudronnier est un facteur important dans l'opération de l'emboutissage au marteau; aussi, pour la réception, a-t-on été conduit à effectuer mécaniquement l'essai d'emboutissage afin d'éliminer cette influence de l'habileté professionnelle.

Ainsi le Comptoir des Forges suédois (Jern Kontor) a fait exécuter par M. C. A. Dellwick, sous la direction de MM. H. Didron, E. Westman et C. A. Angstrom, des essais à l'emboutissage de disques de diverses tôles de 1 m de diamètre et de 9 mm d'épaisseur.

Ces essais furent effectués au choc d'un mouton dont le marteau, du poids de 872 kg, avait son extrémité demi-sphérique, et d'un diamètre de 254 mm. La hauteur de chute pouvait atteindre 9 m.

La figure 1 montre le dispositif du montage du disque métallique essayé.

Les résultats des essais ont été publiés à Stockholm en 1878. « Les expé« rimentateurs, désirant surtout mesurer la déformation produite sous « l'action du choc, prirent les hauteurs de chute de 4,50 m pour les tôles « de fer; ils mesuraient la dépression après chaque coup de mouton et « arrêtaient l'essai dès que la tôle présentait des *indices de cassure.* »

L'appréciation, par l'opérateur, pour limiter l'essai d'après les indices de cassure est très vague et sujette à contestation.

Des essais d'emboutissage statiques de tôles ont été effectués au Laboratoire de l'État belge, à Malines, sur des tôles d'acier allant jusqu'à 23 mm d'épaisseur, et sous une presse hydraulique développant un effort atteignant 200 t. Le poinçon demi-sphérique avait le même diamètre, 254 mm, que celui du Jern Kontor et les disques des tôles avaient 305 mm de diamètre (1). Le diagramme du travail n'étant pas enregistré, on se contentait, comme dans l'essai suédois, d'apprécier les indices de cassure et de mesurer la flèche de l'emboutissage correspondant.

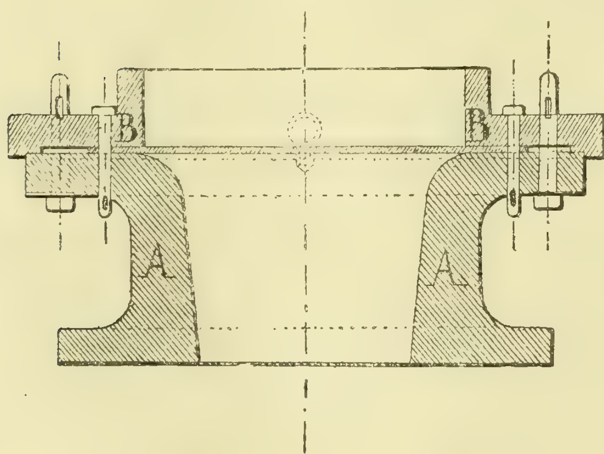


Fig. 1. — Dispositif du montage des tôles essayées à l'emboutissage par le Jern Kontor suédois.

Ces essais d'emboutissage, sur de grands morceaux de tôle, sont dispendieux et ils ne renseignent pas sur la tôle qui sera utilisée, celle qui est essayée étant presque entièrement employée à l'essai.

Les résultats de ces essais, basés sur *l'appréciation des indices de cassure* sont d'une exactitude contestable, comme nous le verrons plus loin. Ils sont en outre insuffisants car cet essai ne renseigne tout au plus que sur la manière dont se comportera la tôle au façonnage de l'embouti, mais il ne donne pas d'indication ni sur la limite d'élasticité, ni sur la fragilité du métal, par conséquent il laisse ignorée la résistance que présentera la pièce en service.

L'essai d'emboutissage étant un essai de flexion et un essai de traction

(1) *Commission des Méthodes d'Essai des Matériaux de Construction*, t. III, 1895, p. 327.

combinés, il est préférable d'effectuer ces deux essais suivant les méthodes habituelles, parce qu'ils donneront des résultats plus exacts, plus complets et plus économiques.

Mais pour les tôles minces de 3 mm et au-dessous, l'essai de traction statique et l'essai de flexion dynamique, effectués d'après les méthodes habituelles, ne sont pas très pratiques; l'essai d'emboutissage, *plus rapide*, peut être utilisé pour quelques cas particuliers.

Pour essayer les tôles minces à l'emboutissage, Erichsen, de Berlin, a fait breveter, en 1912, une petite machine qui permet d'effectuer cet essai statique sur des disques de tôles d'un diamètre de 90 mm ou sur des bandes de 60 mm de largeur (fig. 2).

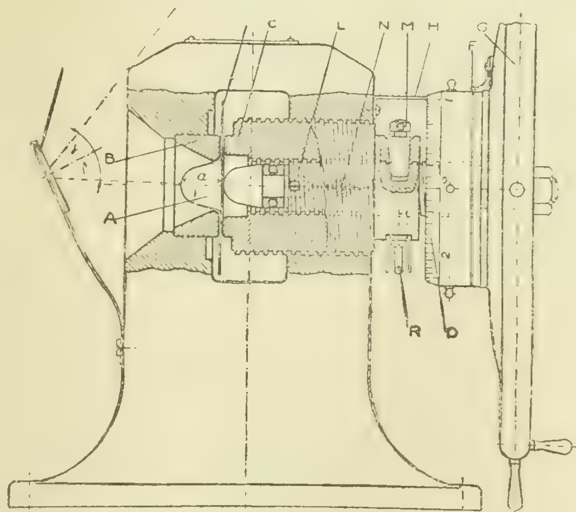


Fig. 2. — Appareil d'Erichsen de Berlin pour essayer les tôles minces à l'emboutissage.

L'éprouvette de tôle, découpée à ces dimensions est serrée par un mors sur la matrice, puis emboutie graduellement par un poinçon mû par une vis actionnée à l'aide d'un petit volant à main.

Les progrès de l'emboutissage sont suivis par l'opérateur, pendant la durée de l'essai, sur un miroir disposé à l'avant de la machine.

La flèche d'emboutissage, *au moment de la rupture*, est lue directement sur le tambour gradué disposé comme celui d'un palmer.

Pendant la guerre, le Ministère de l'Armement et des Fabrications de Guerre et le Sous-Secrétariat de l'Aéronautique militaire et maritime ont adopté l'instrument allemand pour la réception des tôles minces pour *appareils volants*, mais en supprimant quelques organes inutiles : le volant, le miroir et la graduation micrométrique ; et en remplaçant le poinçon par une bille (fig. 3).

La Commission permanente de Standardisation, dans son fascicule A 32-2, impose pour la fourniture des tôles et bandes d'aluminium, l'essai d'emboutissage effectué avec l'appareil (fig. 3), du même principe que celui de l'Allemand Erichsen et la mesure relevée, d'après les indications de cette

Commission, est toujours celle de la flèche de l'emboutissage au moment de la *rupture de la calotte*.

Nous avons vu que dans les premiers essais de tôles par emboutissage effectués par le Jern Kontor et par le Laboratoire de l'État belge, à Malines, l'essai était arrêté dès que la tôle présentait des *indices de cassure*; Erichsen spécifie qu'il arrête l'essai *à la rupture*. Mais jusqu'ici personne n'a défini ni précisé la limite à adopter pour la mesure de l'emboutissage. Les uns admettent que les indices de cassure correspondent à l'apparition des fissures, mais alors il faut définir la fissure, son importance, sa mensuration. Ce que, dans les ateliers, on appelle une gerçure de la peau d'une tôle, très léger défaut qui apparaît parfois longtemps avant toute fissure, et même là où ne se fera peut-être pas de fissure, pourra, par un contrôleur exigeant, être considéré comme l'indice de cassure et même de rupture; c'est ainsi que Erichsen, d'après les photographies qu'il donne dans son prospectus, considère qu'il y a rupture à l'apparition de la fissure : en effet, aucun des spécimens représentés ne comporte l'écartement angulaire de la calotte rompue. Les autres n'admettent la rupture qu'après détachement de la calotte et encore peuvent-ils arguer de complaisance puisque cette calotte ne se détache jamais complètement et reste adhérente par une charnière.

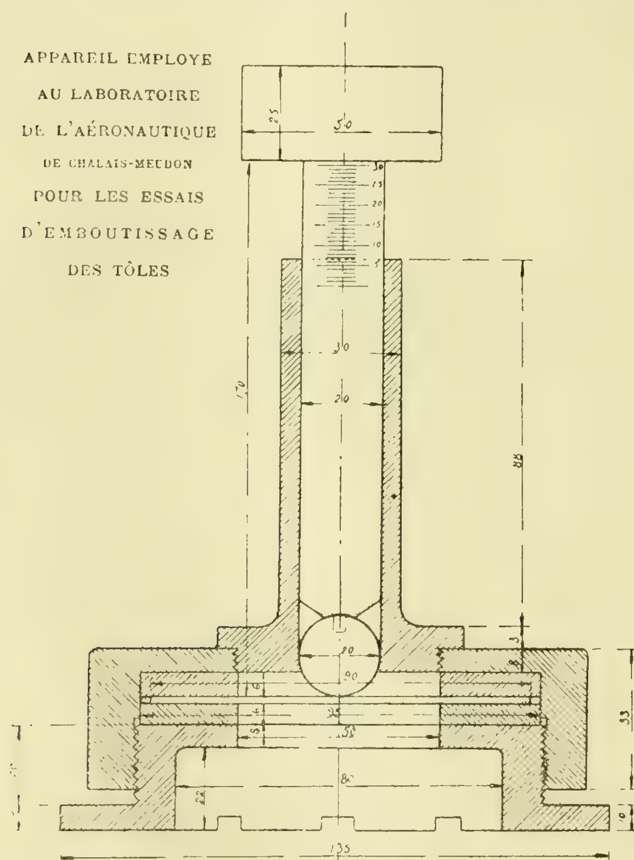


Fig. 3. — Essai des *tôles d'acier* à l'emboutissage.

Entre ces limites extrêmes, il y a place pour de nombreuses estimations ainsi que nous le verrons plus loin.

Ces minuties, qui risquent de paraître exagérées, ne sont pas moins à prendre en considération par suite de la présence d'intérêts opposés dans les réceptions.

Ainsi, en 1896, à la suite d'une explosion de chaudière ayant occasionné la mort de plusieurs ouvriers, l'expert n'admit, lors des essais de flexion des éprouvettes prises dans les tôles de cette chaudière, pour la mesure de l'angle de rupture, la limite extrême quand les deux fragments ne tenaient plus que par une parcelle de métal. Choqué de cette exagération et en prévision de toute contestation possible dans des cas analogues, je présentai à l'Académie des Sciences, le 22 février 1897, une petite note sur *l'enregistrement du pliage dans l'essai des métaux*. Or, l'enregistrement de l'emboutissage statique s'impose pour les mêmes raisons.



Fig. 4. — Poinçon et matrice pour essai d'emboutissage.

Enregistrement du diagramme d'emboutissage. — J'ai effectué, sur quelques métaux, une série d'essais d'emboutissage à l'aide d'un poinçon sphérique de 10 mm de diamètre (fig. 4) et de matrices au diamètre respectif de 14, 15, 16,... 19 mm.

La figure 5 représente, à titre d'exemple, les diagrammes superposés de

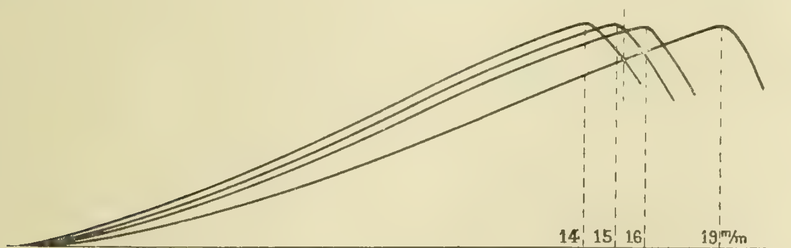


Fig. 5. — Dix grammes superposés de 4 emboutissages successifs effectués avec le même poinçon et avec des matrices de 14, 15, 16, 19 mm de diamètres.

4 de ces essais effectués sur une bande d'acier doux de 2 mm d'épaisseur, avec matrices à diamètre croissant. Les diagrammes enregistrés m'ont permis de constater que l'*effort maximum* est indépendant du jeu dans la matrice, mais que, pour un même métal, la *flèche* d'emboutissage croît proportionnellement à ce jeu. Il faut donc, pour les essais de métal par emboutissage, fixer le jeu dans la matrice.

Dans mes expériences, j'ai admis que le jeu latéral entre le poinçon et la matrice devait être égal à *une fois et demie l'épaisseur de la tôle la plus épaisse à emboutir*; ainsi, avec un poinçon emboutisseur de 10 mm de diamètre, pour des tôles de 1 mm d'épaisseur, la matrice doit avoir 13 mm de diamètre; pour essayer des tôles de 2 mm, la matrice doit avoir 16 mm de diamètre, et pour des tôles de 3 mm d'épaisseur, la matrice doit avoir 19 mm de diamètre. Si l'on a à essayer des tôles d'épaisseurs variées mais ne dépassant pas sensiblement 3 mm, on peut se servir, pour toutes ces tôles, de la même matrice de 19 mm de diamètre, c'est-à-dire de celle qui est au jeu maximum.

La flèche d'emboutissage indique bien, dans une certaine mesure, la ductilité du métal essayé, car elle résulte surtout de l'allongement du métal dans la partie emboutie en entonnoir conique et de l'allongement dû à la striction du métal. Ces deux sortes d'allongement sont analogues aux allongements correspondants dans l'essai de traction, mais ils en diffèrent quant à la grandeur, d'abord parce que l'éprouvette de traction a, dans sa partie utile, une section constante qui donne par conséquent un allongement à peu près proportionnel à la longueur tractionnée, tandis que dans l'emboutissage, de par sa forme conique, la partie tendue a une section décroissante; ensuite à la striction, la rupture est complète dans l'essai de traction habituel, tandis qu'elle n'est que partielle dans l'essai d'emboutissage.

Pour me renseigner sur la façon dont s'effectuent dans l'emboutissage les déformations, par suite des allongements locaux, j'ai coupé, par le milieu, deux éprouvettes, l'une emboutie dans de l'acier doux et l'autre dans du laiton, et j'ai photographié, au diamètre d'environ 5, ces deux coupes représentées figures 6 et 7.

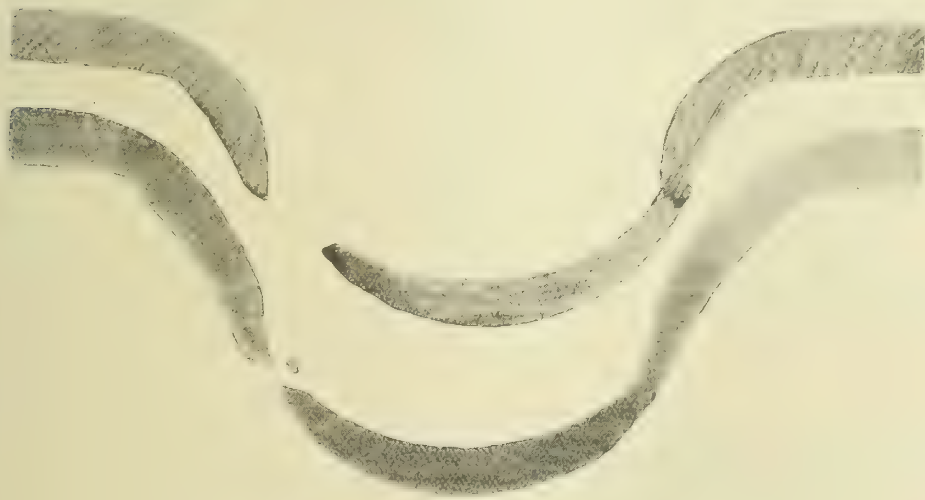
On voit que, dès que le poinçon comprime la tôle, celle-ci fléchit au centre et se plie sur l'arête circulaire de la matrice; il se forme une petite cuvette par traction du métal. Cette traction agit sur la partie extérieure, latérale à cette cuvette, et appuyée sur la matrice. La traction, par pression du poinçon, agit donc sur deux zones voisines, la zone centrale en cuvette et la zone extérieure en couronne. Cette zone extérieure a une surface beaucoup plus étendue que la zone centrale intérieure, aussi l'influence de l'effort de traction, réparti sur une section de métal beaucoup plus importante et en outre diminué par le frottement de la tôle sur la matrice, ne produit-il sur cette zone extérieure qu'une faible déformation.

Au centre de la cuvette la calotte sphérique, pressée directement par le poinçon, subit de ce fait un frottement énergique qui réduit l'effort local et l'allongement du métal, aussi conserve-t-elle, au centre de la cuvette emboutie, une épaisseur maximum qui va diminuant latéralement

et donne ainsi à la coupe de cette calotte sphérique une forme de croissant.

La partie médiane, comprise entre la calotte sphérique et la couronne de la zone extérieure, prend la forme tronconique qui s'accentue au fur et à mesure de l'emboutissage.

L'allongement de cette zone tronconique s'effectue plus particulièrement au sommet, là où le tronc de cône se raccorde au bord de la calotte sphérique, parce que l'effort de traction en ce point est réparti sur la section la plus réduite du métal tractionné; aussi la striction s'effectue-t-elle toujours



Coupes d'emboutissage montrant les déformations du métal.

Fig. 6. — Tôle d'acier de 1,40 mm d'épaisseur.
Fig. 7. — Tôle de laiton de 1,60 mm d'épaisseur.

sur le bord de la calotte sphérique et au sommet du tronc de cône, ainsi qu'on le voit sur les deux photographies (fig. 6 et 7).

La résistance à la rupture dans l'emboutissage d'un métal est donc analogue à sa résistance à la *rupture finale de ce métal* à l'essai de traction; et si ces deux résistances diffèrent l'une de l'autre c'est que la rupture de la calotte sphérique n'est toujours que partielle.

En effet, par suite de l'hétérogénéité du métal et de son corroyage au laminage, sa résistance n'est pas absolument la même dans tous les sens ni en tous les points; aussi la rupture ne s'effectue pas à la fois sur toute la striction circulaire, mais seulement partiellement, et la calotte sphérique tourne autour de la partie non rompue, qui fait office de charnière, pour livrer passage au poinçon.

Quand la différence de résistance, entre les deux sens du laminage de la tôle, est grande, la rupture prend alors une forme asymétrique (fig. 8).

Nous avons vu que, dès le début de l'emboutissage, aussitôt que se forme la petite cuvette sous le poinçon, le métal est tiré tout autour sur la

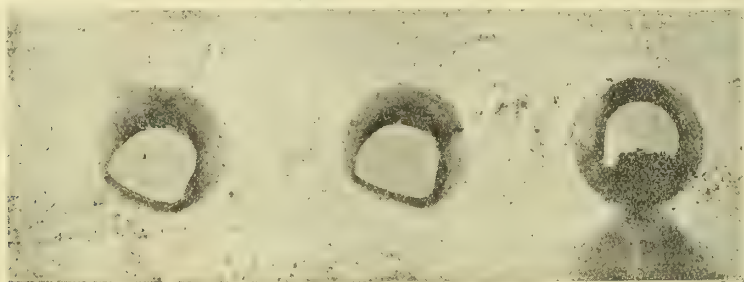


Fig. 8. — Rupture asymétrique à l'emboutissage par suite de ductilité différente dans les deux sens, en long et en travers.

partie extérieure, latérale à cette cuvette et appuyée sur la matrice.

Cette traction circulaire agirait également tout autour si la pièce était de forme carrée ou circulaire et emboutie au milieu; mais si la forme est rectangulaire et assez étroite, l'effet de traction est de *réduire localement la largeur de la bande* suivant l'axe transversal passant par le centre du trou. En outre, ces bords de la bande, dans la partie qui se rétrécit par la traction transversale, se trouvent comprimés par la traction suivant l'axe longitudinal; pour s'en convaincre, il suffit de donner un trait de scie de chaque côté, en l'arrêtant à une petite distance de l'emplacement où s'effectuera l'emboutissage; dès le début de cet emboutissage, les bords opposés de chaque trait de scie se rapprochent jusqu'au contact.

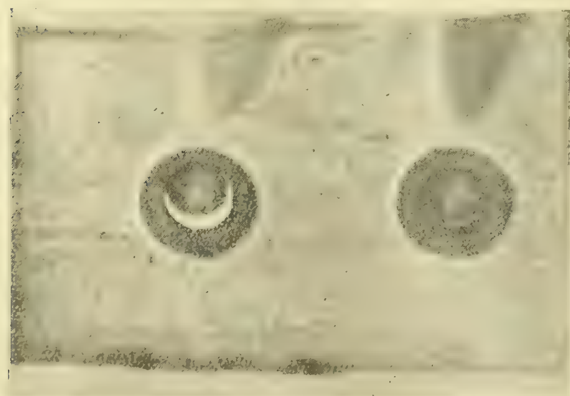


Fig. 9. — Plissements latéraux de la bande emboutie, le métal a godé par suite de la compression à la flexion.

Quand la bande a une faible épaisseur, cette compression fait flamber le métal qui se plie et gode, comme on le voit (fig. 9).

Si, avant d'emboutir une tôle, on a gravé des traits équidistants dans les deux sens, on constate, après emboutissage, que ces lignes se sont d'autant plus incurvées qu'elles sont près de la calotte sphérique (fig. 10).

La rupture du métal essayé à l'emboutissage s'effectue différemment suivant le degré de ductilité de ce métal.

Quand la ductilité est suffisante, il y a rupture suivant la circonférence commune au sommet du tronc de cône et à la calotte sphérique, comme on le voit sur les figures 6 et 7.

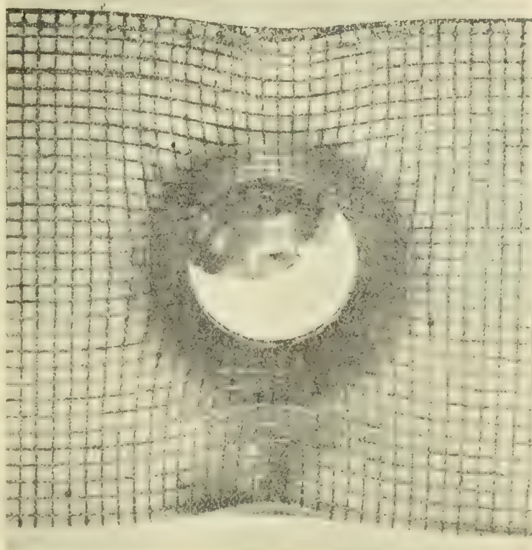


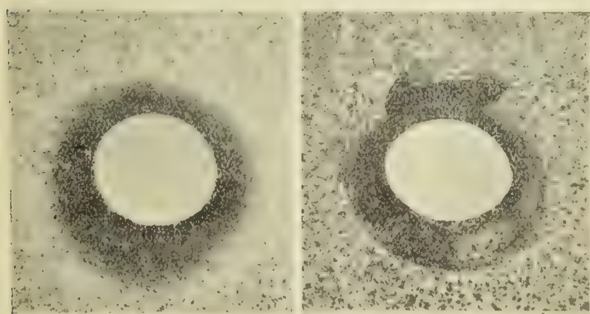
Fig. 10. — Déformation latérale dans l'emboutissage.

La figure 11 donne l'aspect du trou du côté de l'infundibulum produit par l'entrée du poinçon : la figure 12 montre l'aspect de l'autre face, côté de la sortie du poinçon, on voit la proéminence du tronc de cône et la calotte sphérique retenue partiellement; il n'y a pas la moindre fissure.

Quand, au contraire, le métal est peu ductile, il apparaît des fissures transversales sur la face tendue de la tôle et au milieu de l'emboutissage (fig. 13).

La rupture de la calotte sphérique ne s'effectue plus circulairement, mais par *lambeaux fuselés*.

Les figures 14 à 17 montrent, sur les deux faces de flans de bronzes durs



Emboutissage dynamique d'une tôle d'acier ductile.
Fig. 11. — Côté de l'entrée du percuteur.
Fig. 12. — Côté de la proue.

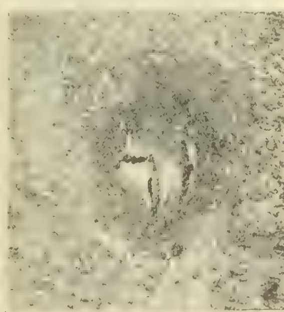


Fig. 13. — Fissures au début de l'emboutissage d'un acier peu ductile.

et peu ductiles, cette forme de rupture fuselée par emboutissage dynamique.

Les figures 18 à 20, montrent, sur les deux faces, des échantillons de

tôles d'acier encore moins ductiles que les bronzes précédents, car ceux-ci ne se sont pas fissurés au pli initial sur le bord de la matrice, tandis que ces tôles d'acier sont très fissurées à cet endroit.

Essai de réception des tôles minces. — Les tôles minces ont des emplois divers : les unes sont utilisées pour leur raideur statique, d'autres, au con-

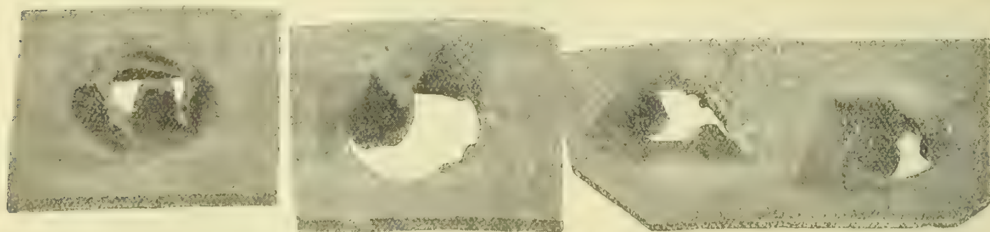


Fig. 14 à 17. — Essais d'emboutissage dynamiques de bronzes durs.

traire, pour leur ductilité, ou bien pour leur résistance vive à certaines actions mécaniques, etc.; il faut donc, pour la réception, des méthodes d'essai adéquates à leur emploi.

Le choix de la méthode et l'indication des valeurs à obtenir dans tous les essais de réception doivent être laissés à l'appréciation de celui qui, plus tard, sera responsable, c'est-à-dire au constructeur qui met en œuvre les

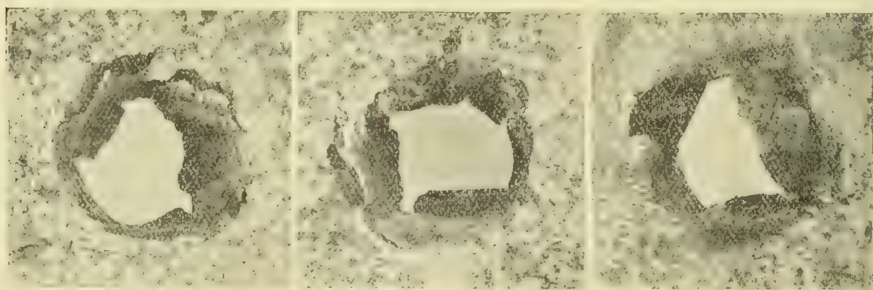


Fig. 18 à 20. — Essais d'emboutissage dynamiques de tôles d'acier peu ductiles.

matières. C'est en effet le constructeur qui est juge des qualités que doit avoir le métal dont il a besoin et c'est lui qui est responsable en cas d'avarie ou d'accident résultant plus tard de l'emploi de la pièce construite.

Pour aider, dans son choix, le constructeur, il faut mettre à sa disposition des méthodes d'essai répondant à ses besoins industriels.

Les essais de traction et de fragilité habituels exigent un volume de métal qu'on ne peut obtenir dans des tôles minces; mais on peut avanta-

geusement employer les « Nouveaux procédés d'essais mécaniques des métaux » décrits dans ma note à l'Académie des Sciences du 4 août 1919 (*Génie Civil* du 30 août 1919).

Ces nouveaux procédés ne nécessitent qu'un très petit volume de métal et permettent, *par l'essai de traction*, de mesurer la limite d'élasticité vraie, la résistance à la rupture, la résistance finale et la ductilité par l'allongement de striction; par *l'essai de choc* sur petite éprouvette entaillée, on mesure le degré de fragilité du métal.

L'essai de *dureté* habituel par empreinte à la bille n'est pas possible sur les tôles minces, mais il est très pratique lorsqu'il est effectué à la molette tranchante sous faible charge, 50 kg par exemple.

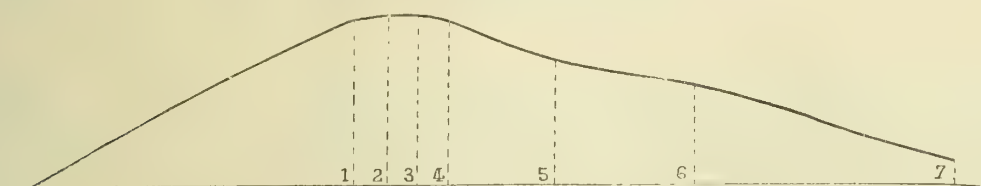


Fig. 21. — Diagramme de sept emboutissages successifs à flèche croissante.
Les abscisses indiquent les flèches successives d'emboutissage, amplifiées 14 fois.
Les ordonnées représentent l'effort à raison de 23 kg par millimètre.

L'essai d'emboutissage, très économique et suffisant dans certains cas, doit être enregistré s'il est effectué statiquement.

Pour montrer l'impossibilité de préciser, par l'appréciation visuelle, le point de *rupture* d'une tôle pendant son emboutissage statique, j'ai fait l'expérience suivante :

Sur une bande d'aluminium de 2 mm d'épaisseur, avec un poinçon sphérique de 10 mm de diamètre et une matrice de 16 mm de diamètre intérieur (fig. 4), j'ai effectué statiquement une série de 7 emboutissages de profondeurs croissantes et correspondant aux points singuliers du diagramme, enregistré automatiquement par la machine (fig. 21). Sur ce diagramme, les abscisses indiquent la course du piston amplifiée 14 fois; les divisions 1 à 7 correspondent aux 7 emboutissages successifs, sous flèches de 3 mm — 3,30 — 3,60 — 3,90 — 5 — 6,40 — et 9 mm.

La photographie des proues de ces 7 emboutissages est reproduite figure 22; les 4 premières proues sont seulement fissurées; les 3 autres montrent un détachement partiel de la calotte sphérique; la dernière correspond au transpercement du métal par le poinçon.

Ainsi, dans cette expérience, la fissure apparaît sous une flèche d'emboutissage variant de 3 à 4 mm de profondeur, et la cassure partielle de la calotte sphérique, sous une flèche d'emboutissage variant de 4 à 9 mm.

L'agent réceptionnaire pourra choisir, selon le degré de sévérité qu'il apportera à la mesure de la résistance à l'emboutissage de cette tôle d'aluminium, une flèche quelconque de 3 à 9 mm. Dans tous les cas, il y aura toujours doute pour l'appréciation du point de rupture et, par suite, contestation quand on sera en présence d'intérêts opposés.

On obtient la mesure exacte de la résistance à l'emboutissage statique d'une tôle, en enregistrant automatiquement le diagramme de l'opération.

Et c'est sur ce diagramme que le constructeur recevra la tôle et constatera si la résistance et la ductilité sont bien conformes à ce qu'il a imposé lors de sa commande.

Suivant l'emploi de la tôle, les conditions à imposer varieront.

Pour des tôles utilisées pour leur *raideur* avant toute déformation perma-

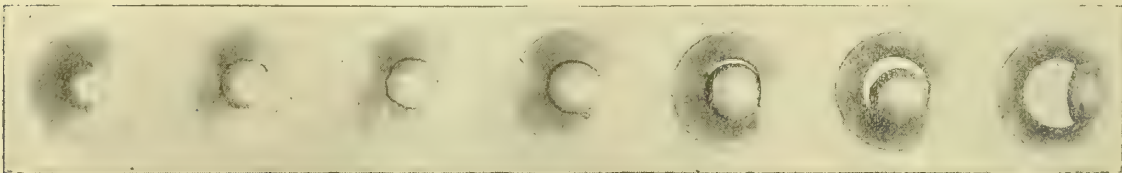


Fig. 22. — Vue des proues de sept emboutissages successifs à flèche croissante.

nente, le constructeur imposera un effort et une flèche déterminés pour le point 1 (fig. 21) correspondant au début de la fissuration.

Pour des tôles utilisées pour leur *résistance vive* c'est la *quantité de travail* dépensée par le transpercement de la tôle, c'est donc la surface du diagramme qui sera à mesurer.

Dans ce second cas il est préférable d'effectuer un essai d'emboutissage dynamique, plus rapide que l'essai statique avec enregistrement.

Cet essai dynamique permet d'évaluer la résistance vive de la tôle essayée, mais n'en révèle pas la fragilité possible.

J'ai effectué quelques essais dynamiques, en mesurant la dépense de travail pour transpercer, à l'aide d'un mouton disposé pour mesurer le travail résiduel, des tôles de métaux différents.

Voici, à titre d'exemple, les résultats obtenus, avec un poinçon sphérique de 10 mm de diamètre et une matrice de 16 mm (les tôles n'ayant pas plus de 2 mm d'épaisseur).

Tôle d'acier de	1 mm. .	4	kgm.
— — —	1,54 — . .	5,5	—
— — —	2 — . .	10	—
— de cuivre rouge	1,56 — . .	5	—
— de laiton.	1,53 — . .	7	—
— d'aluminium.	2 — . .	3,5	—

J'ai aussi essayé, par cette méthode nouvelle, des tôles d'acier de 1 mm pour casques de soldats et j'ai pu constater la grande supériorité de résistance vive de casques anglais dont la tôle m'a donné, dans les conditions d'essai indiquées ci-dessus, 14 kgm, alors que les meilleures tôles de même épaisseur de casques français atteignaient à peine la moitié, 7 kgm.

J'ai constaté aussi la très faible résistance vive de certaines tôles d'appareils volants.

CH. FREMONT.

L'INDUSTRIE DU QUARTZ FONDU ET LA CONSTRUCTION DE LAMPES A ARC DE MERCURE EN QUARTZ FONDU (1)

Monsieur le Président, Mesdames, Messieurs,

Continuant l'idée que j'avais développée ici même, en mars 1915, de nous affranchir aussi complètement que possible de la fabrication étrangère, et de rendre à notre pays les industries dont il était le premier inventeur scientifique, je vous présenterai, aujourd'hui, les premiers résultats que j'ai obtenus dans la construction et la fabrication du quartz fondu, transparent, pour les laboratoires et l'industrie.

C'est vers 1899 que, pour la première fois, j'ai eu l'occasion de m'occuper de cette question. A cette époque, les travaux sur cette matière étaient encore à l'état d'essais et peu connus. En effet, c'est vers 1878 que M. le professeur Armand Gautier présenta les premiers échantillons de quartz, transparent, travaillé au chalumeau. C'était quelques petits tubes de 1 mm de diamètre et des baguettes de même diamètre, mais encore très irrégulières.

Une première méthode de fabrication des tubes fut faite, et publiée par M. Dufour à l'École normale. Cette méthode consistait à prendre des petits fragments de cristal de roche, et à les fondre directement au chalumeau oxyhydrique, pour les étirer en baguettes de 1 ou 2 mm. Ces baguettes étaient ensuite tordues en hélices, genre ressort à boudin, à spires très rapprochées puis, refondues, elles se collaient entre elles et on arrivait ainsi à former un tube assez régulier.

Mais cette méthode qui fut employée longtemps, et même en Allemagne, par Heräus, était longue, pénible et coûteuse, et il a fallu à M. le Professeur Chapuis un véritable courage pour construire, par ce procédé, son thermomètre étalon, à hydrogène. C'était à cette époque un véritable chef-d'œuvre.

Les Anglais entreprirent eux aussi la fabrication du quartz fondu et créèrent une méthode de fabrication par fonte de cristaux au four électrique,

(1) Communication faite en séance publique par l'auteur le 22 janvier 1921. (Voir le compte rendu de cette séance dans le *Bulletin* de février 1921, p. 228.)

et par étirage, exactement comme pour le verre. Ce procédé demandait un matériel très compliqué et très coûteux. Heureusement, l'affaire tenta un groupe financier, dans lesquels étaient les principaux commerçants en métaux précieux de Londres, et les capitaux importants mis dans cette entreprise permirent alors de créer une industrie, qui nous donne les premiers tubes réellement bien réguliers.

Mais cette fabrication avait, et a encore un défaut, celui de coûter probablement très cher, puisque nous payons les tubes de 500 à 700 f le kilogramme, et, par suite, de réduire la vente et l'emploi des tubes en quartz fondu.

Aussi, quand, pour la première fois, je m'occupai de la question, comme je vous l'ai dit, vers 1899, c'était pour notre regretté maître Pierre Curie, qui, ayant besoin de petits tubes de quartz de 2 à 3 mm de diamètre, me demanda si je ne pouvais pas les lui faire. Comme on ne savait rien refuser à M. Curie, j'essayai alors, avec une installation de fortune, à fabriquer ces tubes et, ayant eu la chance de trouver une bonne qualité de cristal de roche, j'arrivai à faire un premier tube, par fonte, au chalumeau, soufflage et étirage. A ce moment, la question du prix, dont je ne pouvais d'ailleurs me rendre compte, ne m'occupa pas, mais le résultat m'intéressa et, prévoyant les services sans nombre que cette matière pouvait rendre aux laboratoires, je n'eus plus qu'une idée : travailler la question pour arriver à un résultat de fabrication et de prix tel que le quartz puisse être considéré comme le verre de l'avenir. Je ne me doutais pas alors que, seulement vingt ans après, je trouverais la solution.

A partir de cette époque, je continuai à essayer de modifier le travail, et les premières lampes à mercure en quartz ayant été publiées, c'est vers ce côté que l'emploi du quartz devint le plus intéressant.

La lampe à vapeur de mercure en quartz offrait un intérêt très grand, car son fonctionnement à très haute température augmentait la production des rayons ultra-violets qui, n'étant pas absorbés par le quartz, permettaient leur application aux recherches spectrales, à la stérilisation, à la photochimie, à la thérapeutique, etc. Le problème étant intéressant à étudier et à résoudre : je commençai les essais sans me douter que, là encore, j'allais rencontrer des difficultés paraissant insurmontables.

Les premiers modèles d'arc à mercure de quartz qui avaient été présentés par Cooper Hewitt, Heräus et la Société Westinghouse, offraient un intérêt très grand, et quelques savants, notamment M. Daniel Berthelot, M. et Mme Victor Henry, commencèrent à publier leurs travaux sur l'étude de ces lampes.

Les demandes affluèrent : on se mit à l'étude de la fabrication; et alors,

apparurent les modèles d'Heräus et de la Westinghouse, qui, sous la direction de M. Maurice Leblanc fils, arriva à créer des types fonctionnant pendant un certain nombre d'heures.

La construction de la lampe elle-même s'obtient assez rapidement, car le quartz ne demandait pas une très grande habileté pour être travaillé. En effet, si cette matière a le défaut de ne fondre que vers 1 800°, sa consistance lui permet de ne pas se déformer dans la flamme et de pouvoir se refroidir et réchauffer sans aucune précaution, les changements de température, comme vous le savez, ne lui faisant subir aucune transformation mécanique. Donc, de ce côté, tout alla bien, mais il s'agissait ensuite de faire fonctionner ces arcs et là, commencèrent des essais sans fin.

Le problème était le suivant pour faire fonctionner un arc à mercure : il faut y faire passer un courant variant de 3 à 10 A, sous 110 V, et, par conséquent, y adapter deux électrodes métalliques. Évidemment, *a priori*, cela paraissait simple de souder les électrodes, mais quelle matière employer, car le quartz ne fondant que vers 1 800°, aucun métal ne permettait d'être travaillé à cette température et comme la lampe ne pouvait fonctionner que sous un vide parfait, comment y adapter ces électrodes?

Après bien des essais, on décida d'employer le métal invar (acier au nickel de M. Guillaume), qui était le métal offrant le plus faible coefficient de dilatation, et adapter ces électrodes par collage d'abord, et ensuite par rodage.

Là encore, on se heurta à des difficultés de construction. En effet, ces lampes pendant le fonctionnement, qui atteignent, comme l'a étudié M. Daniel Berthelot, jusqu'à 2 000° dans l'arc, chauffaient naturellement les électrodes qui désagrégaient le collage, ou se dilatant faiblement, à la longue, laissaient passer de faibles traces d'air et rendaient la lampe impropre à fonctionner.

Je dois dire cependant que la Westinghouse est parvenue, ainsi que Heräus, à construire des lampes qui ont pu fonctionner plusieurs milliers d'heures, mais c'était beaucoup plus une question de chance que de réussite, car, pour obtenir ce résultat, il fallait faire des rodages tellement précis et soignés, qu'il m'avait paru impossible d'obtenir, par ces procédés, une production industrielle.

Donc, de mon côté, persuadé que seulement le problème serait résolu par une soudure hermétique au quartz d'un corps suffisamment conducteur pour permettre d'y faire passer le courant nécessaire, c'est sur ce point que je dirigeai mes essais.

De ces essais, combien en ai-je fait, et pendant combien de temps! Je ne m'en souviens plus.... Après avoir méthodiquement essayé tous les métaux, les oxydes, même certaines terres rares, les alliages composés, sans aucun

résultat sérieux, j'en étais arrivé à essayer de souder au quartz tout ce qui me tombait sous la main, et toujours après des moments d'espoir, je constatais au bout de quelques heures, en faisant des mesures à la jauge de Mac Leod, que de faibles fuites d'abord, s'accentuaient au fur et à mesure du fonctionnement et du refroidissement.

Vers le mois de mai 1913, j'étais parvenu pourtant à souder au quartz des fils de platine de 1 mm de diamètre, et j'ai cru un moment avoir résolu ce problème, mais hélas, par la suite, je m'aperçus que cette réussite n'était due qu'à des coups de chance.

La platine que j'employais, et que la maison Caplain Saint-André avait eu l'obligeance de me faire spécialement fondait, vers 1750°. Avec un tour de main et quelques essais j'étais arrivé à souder ce platine, sans le brûler, au quartz, et une première lampe tint le vide. Tout heureux, je montrai cette lampe au Professeur d'Arsonval, qui a eu l'obligeance de la présenter à l'Institut, où je la fis fonctionner.

Seulement, lorsque je voulus en faire d'autres, je m'aperçus que cela n'allait plus aussi bien, et que, seulement, avec beaucoup de précautions, car la différence des points de fusion des deux corps, qui était encore d'environ 50 degrés, exigeait un tour de main très précis, pour ne pas voir subitement le platine disparaître et, par un coup de hasard, on arrivait à un résultat. Donc, là encore, le travail n'était pas industriel, et je renonçai à ce procédé, après avoir hélas, volatilisé quelques grammes de platine qui, fort heureusement, ne coûtaient pas aussi cher qu'aujourd'hui....

Dans ce sens, plusieurs essais furent faits, par exemple des soudures par une série de verres de coefficients de dilatation différents et gradués qui, par soudures successives, permettaient en dernier d'avoir une qualité de verre très siliceux se soudant au quartz. Mais ce ne sont toujours là que des moyens très coûteux et peu pratiques.

Vers le mois de mars 1914, je résolus d'abandonner ces essais, persuadé que tant que le hasard ne nous aurait pas apporté le moyen de souder un corps conducteur au quartz, il n'y avait pas de lampes possibles.

Or, au mois de mai 1916, M. le commandant Cornu me fit appeler à la Télégraphie militaire, me proposant de reprendre ces travaux, en me montrant tout l'intérêt qu'il y avait à utiliser les rayons ultra-violets, tant pour la télégraphie optique que pour la signalisation, au moyen des lampes à arc très puissant.

Mon premier mouvement fut de refuser énergiquement, mais devant l'insistance du Commandant à qui j'expliquais les raisons qui me retiraient toute confiance, toujours pour ce maintien absolu du vide (surtout qu'il

s'agissait de la défense nationale) et qu'il fallait des instruments sur lesquels on pût compter, le Commandant me dit alors : « M. Berlemont, si c'est le vide qui vous gêne, faites des lampes sans vide ».

Mon étonnement fut tel que le Commandant m'assura qu'il ne songeait nullement à plaisanter, et m'expliqua qu'il avait déjà pensé à la question. Il m'exposa ses idées, et ma foi, me convertit de nouveau.

Mais il y avait là toute une série d'essais sans nombre à faire, et mon temps était très pris pour les poudreries et le matériel chimique de guerre; je me demandai comment faire pour activer ces essais, que je ne croyais pas pouvoir faire seul.

Le Commandant me mit alors en contact avec M. Henri George, ingénieur-sapeur au 8e régiment de génie, et on installa de suite un petit laboratoire à la Télégraphie militaire, où nous fîmes nos premiers essais. Ceux-ci furent tellement satisfaisants que, quelque temps après, j'obtins du général Ferrié la permission de monter un laboratoire dans mes ateliers et d'y installer M. Henri George. A partir de ce moment, très rapidement, la lampe fut mise au point, et M. Henri George, qui avait pris la question à cœur et qui avait des connaissances techniques très étendues, se consacra à ces recherches et, après avoir méthodiquement éliminé toutes les causes de non-fonctionnement, créa un premier modèle de lampe à courant continu, qui avait, sur les autres types, les avantages suivants :

1° Lampe fonctionnant à la pression atmosphérique, par conséquent pouvant voyager facilement, car c'était là un des premiers inconvénients des lampes à vide. En effet, le poids du mercure, 500 g environ, lorsque la lampe était retournée un peu brusquement, par le phénomène bien connu du coup de marteau dans le vide, causait la casse de la lampe;

2° Allumage automatique des lampes. Pour amorcer les arcs à mercure, il fallait incliner les lampes pour amener le contact des deux pôles et faire jaillir l'arc par un court-circuit coupé brusquement. C'était là une manœuvre pas toujours facile et qui ne permettait pas, entre autres, de régler d'avance une mise au point; par un procédé très simple, nous sommes arrivés à éviter cela.

Voici le schéma d'une lampe à courant continu, 110 V — 3,5 A, du type Henri George (fig. 1 et 2); vous voyez de suite, comment on peut allumer cette lampe qui paraît absolument parfaite et qui, certainement, par la suite, trouvera encore des perfectionnements.

Je dois dire ici quels ont été, pour arriver à ce résultat, les concours précieux que j'ai trouvés auprès de : M. Henri George d'abord, qui, lui, a sacrifié son avenir scientifique pour résoudre cette question, ses collaborateurs à la télégraphie; M. Hébert Stevens, le peintre bien connu, qui, lui,

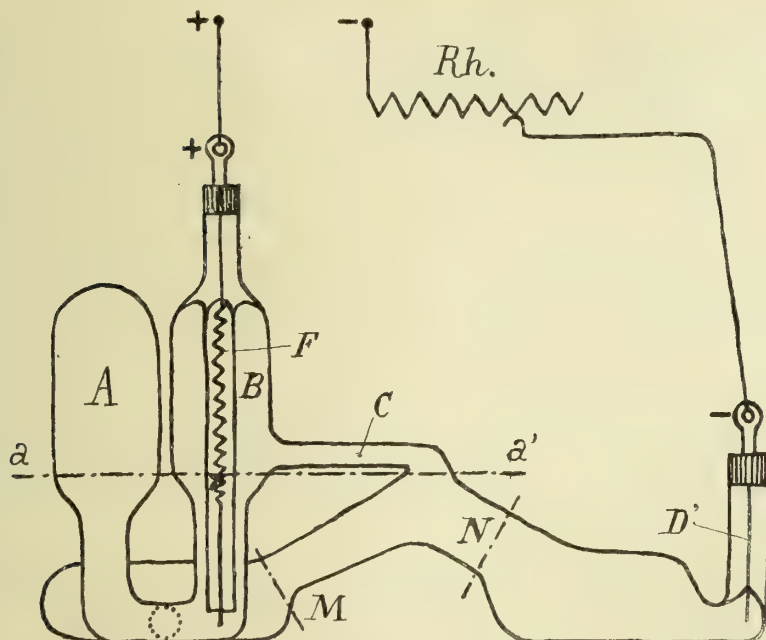


Fig. 1. — Coupe schématique de la lampe à mercure, système Henri George.

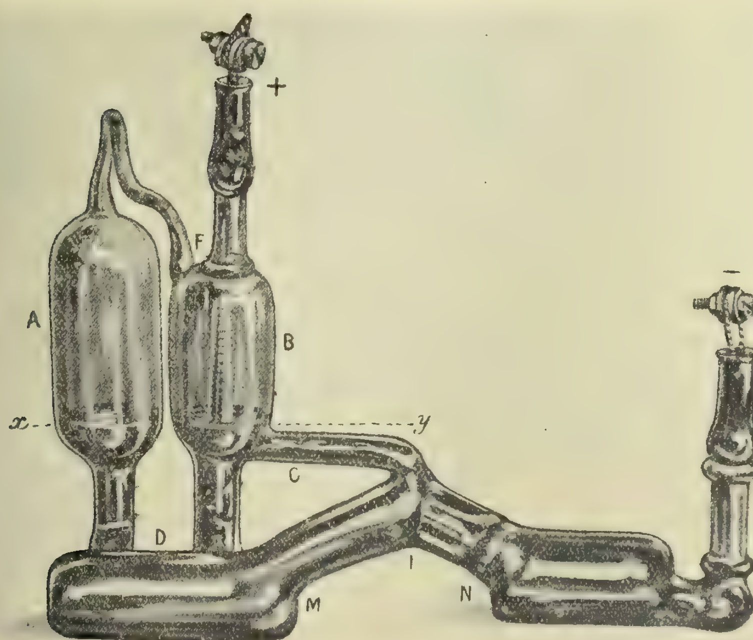


Fig. 2. — Vue de la lampe à mercure, système Henri George.

a eu l'idée le premier d'appliquer le tungstène à la soudure du quartz; André Larigaldie qui, par la suite, est venu à mon laboratoire s'associer à nos recherches, tout en continuant ses travaux sur l'infra-rouge, qui lui ont donné de bons résultats, au ministère de la Marine; M. Lepape, à qui le professeur Moureu a eu l'obligeance de permettre de s'occuper de la purification des gaz nécessaires à nos essais; M. P. Bunet, ingénieur-électricien, président de l'Association des anciens Élèves de l'École de Physique et Chimie et M. Barnard, ingénieur, qui ont eu confiance en moi et m'ont aidé à constituer une petite société d'études financière, qui nous a permis de poursuivre nos travaux.

Restent maintenant les différentes applications du quartz. Elles sont très nombreuses, non seulement dans les laboratoires, mais aussi dans l'industrie chimique, l'industrie électrique et même dans la fabrication d'ustensiles courants.

Il y a, comme vous le savez, deux genres de quartz : le quartz siliceux ordinaire, qui permet de fabriquer des instruments industriels à un prix de revient meilleur; et le quartz transparent, ou cristal de roche fondu, qui permet de faire les instruments de laboratoire et se prête à des applications diverses, dont j'ai ici quelques échantillons.

Je ne vous rappellerai pas ici les travaux scientifiques faits sur ce sujet, car, depuis longtemps, ils ont été publiés par : M. H. Le Chatelier pour le quartz et la silice; M. Daniel Berthelot; M. et Mme Victor Henry, pour les rayons ultra-violets.

Il y a à construire les lampes à mercure, d'abord, puis, pour la thérapeutique, les traitements par les rayons ultra-violets, pour les bains de soleil, la stérilisation des plaies, différents petits instruments tels que seringues, canules, cystoscopes, facilement et rapidement stérilisables dans n'importe quel foyer.

Les autres applications sont : la stérilisation des eaux et des produits physiologiques, la photochimie, la photosynthèse et la photographie; l'éclairage, la recherche des maladies de peau invisibles à l'œil, etc.

La question qui se pose maintenant est, étant donné le prix trop élevé de la fabrication anglaise et même de la tentative du quartz fondu dans l'Ardèche, de chercher à résoudre industriellement le prix de revient; tout l'avenir de cette industrie en dépend. Mais je crois pouvoir vous affirmer qu'avant peu je pourrai, dans une nouvelle communication, vous dire : la solution est trouvée.

G. Berlemont.

RELATIONS ENTRE LES PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DES PATES DE FARINE ET LA PANIFICATION

La formation du pain est un phénomène complexe qui a donné lieu à de nombreux travaux d'ordre chimique, physique et bactériologique. Parmi les différents points de vue où ce phénomène peut être envisagé, il en est un qui ne paraît pas avoir été jusqu'alors utilement considéré : nous voulons parler des relations qui existent entre le gonflement panaire et les propriétés mécaniques des pâtes de farine.

On sait que les différentes pâtes de farine, ou les glutens tirés de ces farines, présentent des élasticités différentes, mais les observations faites à ce sujet sont restées purement empiriques. L'aleuromètre Boland, parfois utilisé par les praticiens pour déterminer la valeur panifiable d'une farine, apprécie l'élasticité résiduelle du gluten porté à une température élevée, et ne peut donner que des indications très incertaines. La mesure doit d'ailleurs être faite, non sur le gluten, mais sur la pâte de farine seule intéressée dans la panification, car il est indispensable de respecter la cohésion moléculaire particulière à cette substance.

Je me propose d'établir qu'il existe une relation simple et générale entre la faculté que possède une pâte de farine de s'étendre en membrane mince, et le volume spécifique du pain susceptible d'être obtenu avec cette farine, cette relation permettant de prédéterminer d'une façon exacte et rapide la valeur boulangère d'une farine. Je montrerai également que le procédé employé permet en même temps de prédéterminer le rendement en pain d'une farine.

Appareil de mesure des propriétés mécaniques des matières plastiques. — Mes recherches ont été retardées à l'origine par l'obligation d'établir un appareil de mesure des propriétés mécaniques des matières plastiques, applicable principalement à l'étude des pâtes de farine, et dont l'emploi peut être étendu à plusieurs industries.

J'ai cherché à réaliser avec une éprouvette de pâte, obtenue d'une manière uniforme, une alvéole limitée par une paroi mince, analogue à celle qui forme la partie élémentaire de la mie de pain, et de dimensions suffisantes pour que l'on puisse effectuer les deux mesures suivantes :

a) La mesure de la ténacité de la pâte, caractérisée par l'effort nécessaire pour obliger cette éprouvette à prendre, dans un temps constant, une forme déterminée ;

b) La mesure de la faculté que possède la pâte de s'étendre en membrane mince.

Les conditions à réaliser pour que les mesures soient comparables sont les suivantes :

Il va de soi que la pâte doit être préparée dans des conditions bien déterminées. En raison de l'inconsistance de cette matière, il est logique d'employer l'appareil à limiter lui-même l'éprouvette soumise à l'essai. Pour la même raison, l'attache de l'éprouvette doit être aussi développée que possible. Cette éprouvette doit être portée par l'appareil à une température constante. Enfin, il est indispensable que la loi de variation de l'effort auquel est soumise la pâte, soit uniforme dans tous les essais, car ces substances ne peuvent subir en fait qu'une suite de déformations permanentes.

Ces conditions sont réalisées d'une façon pratiquement satisfaisante dans l'appareil représenté, sur la figure 1, par une coupe longitudinale, et, sur la figure 2, par une photographie.

Cet appareil comprend un socle de fonte surmonté d'un plateau de bronze A de forme circulaire. Le socle porte une colonne verticale B sur laquelle peut coulisser la semelle C qui fait corps avec le deuxième plateau de bronze D. Un volant permet de déplacer ce plateau parallèlement au premier. Au centre du plateau A, est ménagée une ouverture de forme tronconique qui peut être obturée par un clapet de même forme E, que permet de manœuvrer la manette extérieure F. La chambre G est réunie par l'ajutage H aux instruments d'observation figurés à une échelle réduite, et qui comprennent : un manomètre à eau M doué d'amortissement critique des oscillations, et un mesureur de verre N gradué en centimètres cubes raccordé, à la partie inférieure, par un tube de caoutchouc, à un flacon de manœuvre renfermant de l'eau.

Le plateau D est également percé au centre par une ouverture tronconique que peut obturer le clapet J, maintenu sur son siège par trois tourniquets tels que K. Le socle renferme : une résistance électrique de chauffage L, réunie à un rhéostat de réglage, et un serpentin S, qui peut être parcouru par un courant d'eau pour assurer éventuellement le refroidissement de l'appareil. Un thermomètre donne la température du plateau A, et dans l'intervalle des mesures, les plateaux A et D sont mis en contact.

Mesure de la ténacité et du coefficient d'extension de la pâte. — L'essai d'une pâte de farine se fait de la façon suivante :

On a constitué, comme il sera dit plus loin, une pâte homogène, découpée en petits pâtons cylindriques ayant environ 50 mm de diamètre et 18 mm

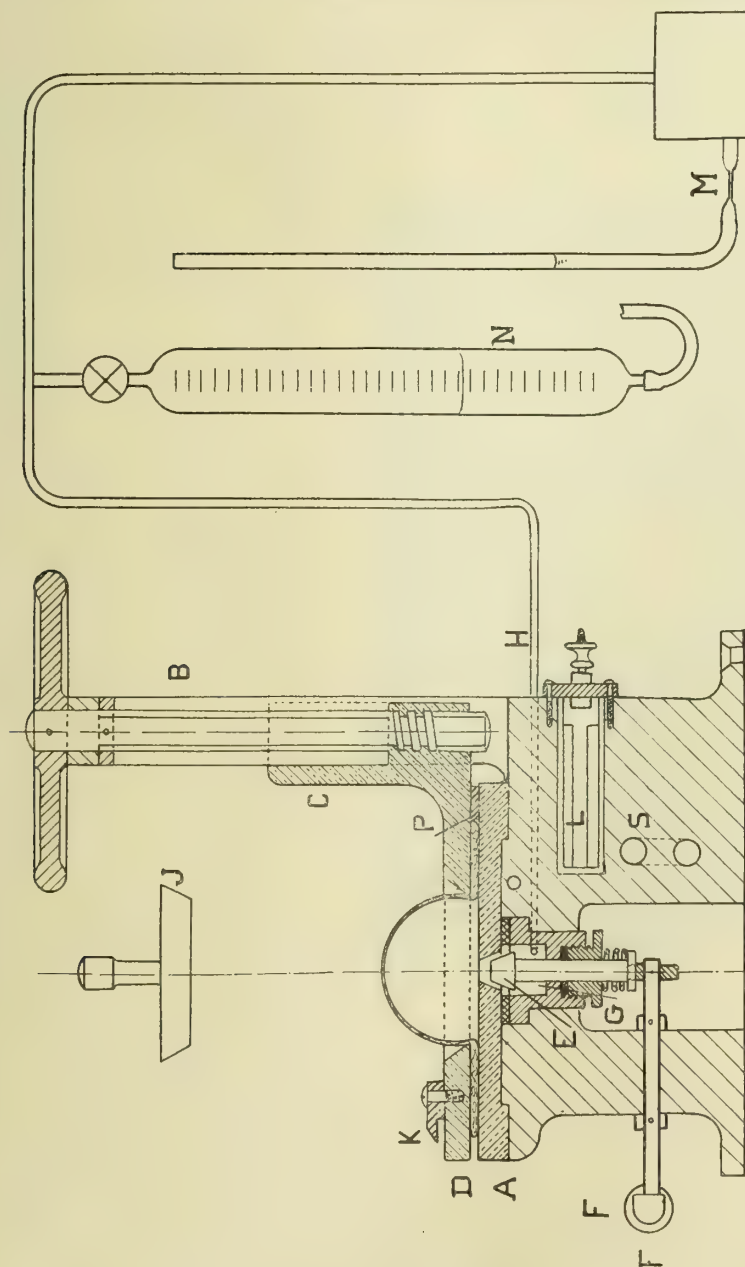


Fig. 1.

de hauteur. L'appareil étant à 25°, on huile légèrement les faces des plateaux, et on dispose les clapets E et J sur leurs sièges.

Un pâton est alors placé au centre de A, et comprimé progressivement

par la descente du plateau D jusqu'à la rencontre d'une cale mobile P. On enlève le plateau J, et on abaisse le clapet E.

L'échantillon est à ce moment divisé en deux parties dont l'une, centrale, a la forme d'un disque de 3 mm d'épaisseur et 58 mm de diamètre, qui constitue l'éprouvette de mesure, et dont l'autre, périphérique, emprisonnée entre les deux plateaux, servira d'attache à l'éprouvette. En raison de sa faible épaisseur, la pâte prend presque instantanément la température des plateaux.

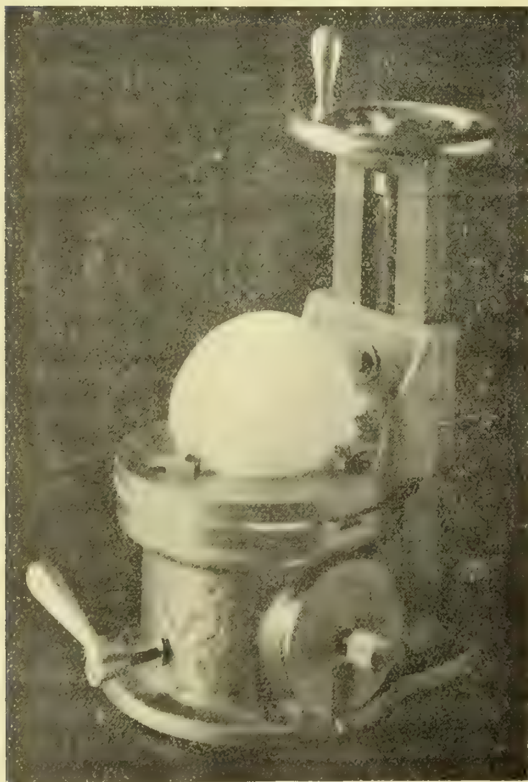


Fig. 2.

Le flacon de manœuvre étant placé dans une position supérieure déterminée, on refoule un peu d'air sous l'éprouvette de manière à la décoller. On laisse ensuite le mouvement se produire librement. Le manomètre atteint rapidement une pression maximum qui se stabilise pour diminuer ensuite progressivement. Cette pression maximum (P en millimètres d'eau) caractérise l'effort nécessaire pour déformer la membrane de pâte, et l'amener à prendre la forme d'une calotte sphérique déterminée. Elle est proportionnelle à la ténacité de la pâte. Sa valeur n'a une signification que pour une vitesse déterminée du refoulement de l'air.

Le gonflement de la pâte se poursuit, et l'on voit la membrane s'étendre en prenant la forme d'une calotte sphérique à parois très minces (fig. 2), dont le volume ne cesse de s'accroître jusqu'à ce que la rupture se produise en un point. La surface de la membrane au moment de la rupture sert de mesure au coefficient d'extension de la pâte, représenté par E. Des essais préalables ont permis de relier les valeurs respectives de la surface de la membrane et du volume d'air refoulé ; elles sont sensiblement proportionnelles dans les limites d'expérimentation, de sorte qu'il suffit pratiquement de faire la lecture du volume d'air au moment de la rupture V_r, sur le mesureur gradué.

Le résultat admis pour E est une moyenne portant sur 8 essais d'échantillons tirés d'une même pâte.

Notons enfin que le déplacement de la membrane s'opère toujours dans des conditions identiques. Il suit la loi d'écoulement de l'eau entre les vases communicants, et la déformation de la membrane n'apporte qu'un faible ralentissement dans l'écoulement du liquide : 21 secondes au lieu de 19 secondes pour atteindre un volume de 500 cm³.

Propriétés mécaniques des pates de farine. — Un grand nombre d'essais

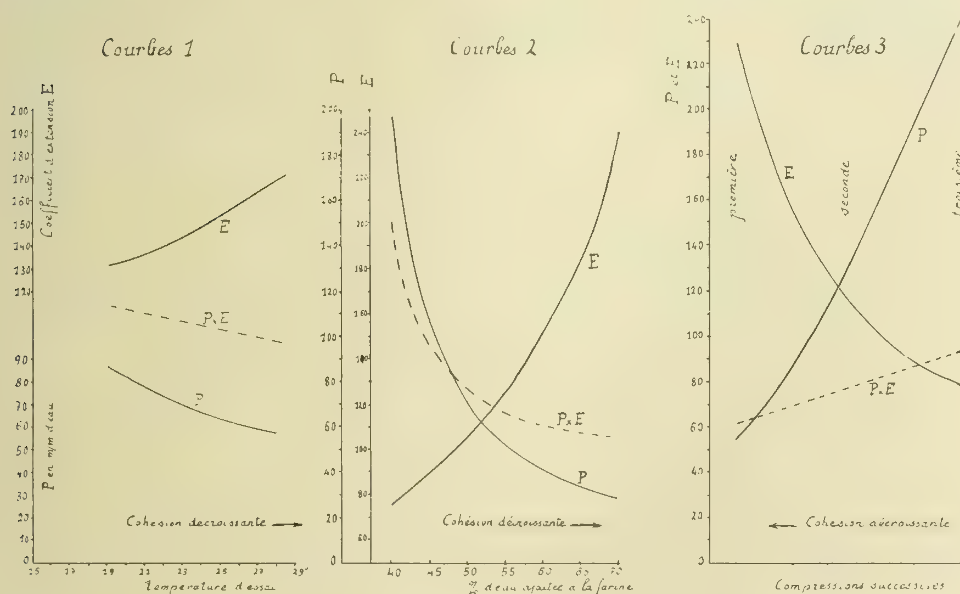


Fig. 3.

ont été nécessaires pour fixer l'importance des différents facteurs qui influent sur les résultats, et obtenir que l'éprouvette de pâte essayée soit représentative d'une façon uniforme de la farine dont elle est issue.

Nous n'exposerons que les conclusions de ces essais, en donnant quelques courbes qui ont surtout pour objet de faire connaître le sens des variations.

Influence de la température. — Une pâte de farine est essayée à des températures différentes. On a porté les résultats moyens sur le graphique I (fig. 3). On voit que la pâte devient moins tenace et plus facilement extensible lorsque la température augmente, et que cette influence est très notable.

Influence de la composition de la pâte. — On constitue avec une farine des pâtes présentant des teneurs en eau croissant de 40 p. 100 à 65 p. 100 (en

plus de l'humidité primitive de la farine, égale à 15 p. 100). Les résultats sont portés sur le graphique 2 (fig. 3).

Influence du mode de travail de la pâte. — Le travail nécessaire pour rendre la pâte homogène agit sur sa cohésion et, par suite, sur les résultats. Afin de rendre très sensible cette action, nous avons mesuré les valeurs de P et E que prend un pâton soumis à trois compressions successives dans l'appareil. Ces valeurs sont portées sur le graphique 3 (fig. 3).

Age de la farine. Temps de repos de la pâte. — Nous ne ferons que signaler ici l'évolution des propriétés mécaniques d'une farine avec le temps, évolution surtout sensible pendant les premiers jours qui suivent la mouture.

D'autre part, les propriétés d'extension de la pâte abandonnée au repos, à la sortie du pétrin, s'améliorent, principalement pendant la première demi-heure.

Enfin, il est probable que la composition de l'eau employée dans le pétrissage influe également sur les résultats.

Ces différents résultats peuvent s'interpréter en remarquant que les valeurs de P et E dépendent, pour une farine donnée, du degré de cohésion réalisé dans la pâte. Une pâte compacte, à cohésion élevée, est tenace, et nécessite un effort de déformation élevé; par contre, elle ne jouit que faiblement de la faculté de s'étendre en membrane mince.

Ces résultats sont en conformité avec ce fait bien connu des boulangers qu'une pâte à pourcentage d'eau élevé, ou placée à température relativement élevée, gonfle plus rapidement et plus complètement qu'une pâte serrée ou fermentée à température basse.

Ils donnent enfin un aperçu des facteurs multiples qui interviennent dans le cours d'une panification et rendent délicate l'obtention de résultats comparables entre eux.

Préparation d'une pâte homogène. — Les observations qui précèdent ont permis de définir comme suit les conditions à réaliser pour obtenir une pâte homogène, caractéristique de la farine essayée :

333 g de farine (supposée à 15 p. 100 d'humidité) sont mélangés dans un petit pétrin mécanique à 166 cm^3 d'eau à 25° additionnée de 5 g de chlorure de sodium.

De petites variations de la teneur en eau dans la farine, de l'ordre de 1 p. 100, en plus ou en moins, sont admissibles sans changement de ces proportions; si le pourcentage d'eau est inconnu, il est nécessaire d'en déterminer la valeur approximative, afin d'amener la pâte au même degré d'humidité totale.

Le pétrissage est fait avec soin pendant 8 minutes. La pâte est ensuite formée en un cylindre de 65 mm environ de diamètre; elle repose pendant 20 minutes. Pour procéder aux essais, on prélève à l'aide d'un emporte-pièce, et au fur et à mesure des besoins, des échantillons de 50 mm de diamètre et 18 mm d'épaisseur. Cette technique permet de former des pâtons présentant une cohésion déterminée, mais à la condition de n'exercer manuellement aucune pression importante dans leur préparation.

Nous donnons ci-dessous à titre d'exemple les résultats de 5 essais effectués le même jour avec une farine. On a porté la ténacité de la pâte P en millimètres d'eau, le volume de rupture de la membrane V_r en centimètres cubes (proportionnel au coefficient d'extension E) et la racine carrée de ce volume qui sert de mesure, comme nous le verrons bientôt, à l'indice de gonflement panaire d'une farine.

1°	V_r :	350	370	410	340	360	350	360	390
	$\sqrt{V_r}$:	18,7	19,2	20,2	18,5	19,0	18,7	19,0	19,7
			P moyen : 41,2				$\sqrt{V_r}$ moyen : 19,12		
2°	V_r :	300	330	360	390	370	260	400	340
	$\sqrt{V_r}$:	17,3	18,2	19,0	19,7	19,2	16,1	20,0	18,4
			P moyen : 43,0				$\sqrt{V_r}$ moyen : 18,50		
3°	V_r :	370	410	420	360	350	360	320	420
	$\sqrt{V_r}$:	19,2	20,2	20,5	19,0	18,7	19,0	17,9	20,5
			P moyen : 41,8				$\sqrt{V_r}$ moyen : 19,36		
4°	V_r :	380	480	250	420	410	420	380	400
	$\sqrt{V_r}$:	19,5	21,9	15,8	20,5	20,2	20,5	19,5	20,0
			P moyen : 41,5				$\sqrt{V_r}$ moyen : 19,74		
5°	V_r :	280	300	340	400	—	450	420	400
	$\sqrt{V_r}$:	16,7	17,3	18,4	20,0	—	21,2	20,5	20,0
			P moyen : 42,9				$\sqrt{V_r}$ moyen : 19,15		

La valeur moyenne de l'indice de panification est : 19,17. L'écart moyen entre cette valeur probable et les valeurs moyennes obtenues à chaque essai est de 1,5 p. 100, et l'écart maximum est de 3,5 p. 100. Les volumes de rupture présentent des écarts assez notables dus aux défauts inévitables dans l'homogénéité de la pâte. L'erreur se trouve réduite de moitié car la racine carrée de ces volumes interviendra seule dans nos déterminations. Enfin, la moyenne des 8 essais successifs exécutés avec une même pâte, prise dans un intervalle de temps déterminé, donne la valeur de l'indice du gonflement panaire avec une approximation très satisfaisante.

Nous pouvons, dans ces conditions, aborder la partie principale de notre étude.

RELATION ENTRE LE COEFFICIENT D'EXTENSION DE LA PATE ET LE GONFLEMENT PANAIRE. — Les essais, comprennent :

D'une part, la mesure de la ténacité de la pâte (P en millimètres d'eau) et la mesure du coefficient d'extension de la pâte E, numériquement égal à la surface de la membrane au moment de la rupture, proportionnel à V_r. Les nombres adoptés sont des moyennes d'essais exécutés avec l'appareil extensimètre sur une pâte préparée comme il vient d'être dit.

D'autre part, l'obtention de quatre petits pains tirés de cette farine dans des conditions de panification suffisamment semblables, et la mesure des volumes spécifiques apparents de ces pains. Le nombre adopté est une moyenne des volumes des quatre pains. L'essai de panification et la mesure à l'extensimètre sont autant que possible effectués le même jour.

Panification : mode opératoire. — On utilise un petit pétrin mécanique de 2 kg de pâte et un four électrique, spécialement établi pour ces essais, et de manière à permettre la cuisson du pain à une température mesurée par un pyromètre. Cette température est réglée par la manœuvre d'un rhéostat. La cuisson se fait dans un courant de vapeur provenant d'une chaudière chauffée par une seconde résistance électrique.

Les essais étaient faits par un boulanger expérimenté, qui opérait à sa guise en ce qui concerne le pétrissage et la durée de la fermentation due à une levure sèche en excès, mais qui était tenu d'enfourner des poids de pâte de 175 g et de les cuire pendant 18 minutes à 270°. Le volume spécifique apparent du pain était obtenu par pesée et déplacement de petites graines rondes de densité connue. Ce volume est exprimé en centimètres cubes par 100 g de pain.

Loi du gonflement des pâtes de farine. — Les résultats obtenus sont intégralement portés sur le tableau ci-après, à l'exception de quelques essais préliminaires de mise au point.

On voit qu'il n'existe pas de relation immédiate entre la ténacité P de la pâte et le gonflement panaire. Ceci ne peut nous surprendre, car la division de la pâte au cours de la panification est infiniment longue, et des pressions gazeuses même minimes peuvent toujours effectuer des déformations aussi lentes à s'établir.

Il existe au contraire une relation simple entre le gonflement panaire et le coefficient d'extension de la pâte E. Cette relation est mise en évidence sur la courbe 4 (fig. 4) où le volume spécifique du pain est porté en ordonnées et sur laquelle nous avons été conduits à porter en abscisse la racine carrée du coefficient d'extension E.

Les 31 points représentatifs des essais définissent une droite dont l'ordonnée à l'origine est précisément égale au volume spécifique initial V_0 de la pâte non fermentée (les différences de densité sont assez faibles). En

TABLEAU DES ESSAIS CORRESPONDANT A LA COURBE 4.

N^{os}	COMPOSITION, OBSERVATIONS	DATE	E	$\sqrt{E}$	P	VOLUME DE 100^g PAIN	K	P. 100 D'ÉCART
1	Farine 1re du 6 août (80, Plata, 20, seigle) A.	8 août	234	15,3	36	359	17,9	+ 7,3
2	— ancienne, composition inconnue B.	21 —	112	10,6	91	274	17,8	+ 6,7
3	Mélange : 50, A + 50, B.	24 —	199	14,1	53	341	18,1	+ 8,5
4	—	25 —	199	14,1	53	331	17,4	+ 4,3
5	Farine 3e du 30 juillet (Plata + seigle). .	25 —	90	9,5	—	259	18,3	+ 10,0
6	— A.	28 —	264	16,24	37	380	18,2	+ 9,1
7	Derniers passages conv., 26 août (82 Plata, 12 seigle, 6 pays)	28 —	77	8,7	80	228	16,3	— 2,3
8	Farine à 80 p. 100, 2 sept. (80 Plata, 6 pays, 12 seigle).	2 sept.	186	13,6	36	326	17,7	+ 6,1
9	Farine n° 1, 9 sept. (67 Plata, 22 Redw., 11 pays) C	13 —	206	14,3	45	313	15,9	— 4,7
10	Farine n° 1, 9 sept. (67 Plata, 22 Redw., 11 pays)	15 —	239	15,4	40	339	16,4	— 1,6
11	Farine n° 1, 9 sept. (67 Plata, 22 Redw., 11 pays).	16 —	250	15,8	41	371	18,0	+ 7,9
12	Farine n° 2, 9 sept. (67 Plata, 22 Redw., 11 pays) D	16 —	239	15,5	40	338	16,4	— 1,8
13	Farine à 80 p. 100, 9 sept. (67 Plata, 22 Redw., 11 pays) E.	17 —	220	14,8	43	314	15,5	— 7,0
14	Farine n° 3, 9 sept. (67 Plata, 22 Redw., 11 pays) F.	17 —	116	10,7	69	214	12,0	—
15	Farine n° 3, 9 sept. (67 Plata, 22 Redw., 11 pays)	18 —	116	10,7	69	230	13,5	— 19
16	Farine de broyage, 9 sept. (67 Plata, 22 Redw., 11 pays)	18 —	254	15,9	27	338	15,9	— 4,4
17	Mélange : 50, C + 50, F.	21 —	169	13,0	51	270	14,3	— 14
18	Farine très ancienne (1912)	environ	env.	5,2	160	142	11,0	—
19	— C.	24 sept.	270	16,4	41	363	16,9	+ 1,3
20	— D.	30 —	229	15,1	40	341	16,9	+ 1,3
21	— E.	1er oct.	241	15,5	40	341	16,5	— 1,1
22	— de broyage du 9 septembre. . . .	2 —	270	16,4	25	358	16,6	0,0
23	— F.	2 —	126	11,2	80	238	13,6	— 18
24	— du 21 oct. (55 pays, 35 Plata, 10 seigle)	22 —	284	16,8	35	348	15,6	— 6,5
25	Farine du 21 oct. (55 pays, 35 Plata, 10 seigle)	23 —	284	16,8	35	358	16,2	— 2,9
26	Extraction sommaire à 50 p. 100, blé de pays 1	8 nov.	244	15,6	33	343	15,9	— 4,7
27	Extraction sommaire à 50 pour 100, seigle.	9 —	50	7,1	80	217	18,6	+ 11,5
28	Extraction sommaire à 50 p. 100, blé de pays 2	10 —	146	12,1	32	302	17,9	+ 7,3
29	Extraction sommaire à 50 p. 100, blé de pays 3	15 —	212	14,5	29	328	16,8	+ 0,7
30	Extraction sommaire à 50 p. 100, blé de Plata.	17 —	277	16,6	44	372	17,3	+ 3,7
31	Farine à 80 p. 100, 15 nov. (10 Plata, 80 pays, 10 seigle).	17 —	176	13,2	32	317	17,5	+ 4,9

appelant V le volume spécifique final du pain et K un coefficient de proportionnalité, cette relation peut donc s'écrire :

$$V - V_0 = K\sqrt{E}. \qquad [1]$$

On a porté sur le tableau, à l'avant-dernière colonne, la valeur de K. Si l'on excepte sur les 31 essais les essais n°s 14 et 18, pour lesquels le développement normal n'a pu être obtenu, on trouve 16,68 comme valeur moyenne de K, et on relève les écarts suivants par rapport à cette moyenne :

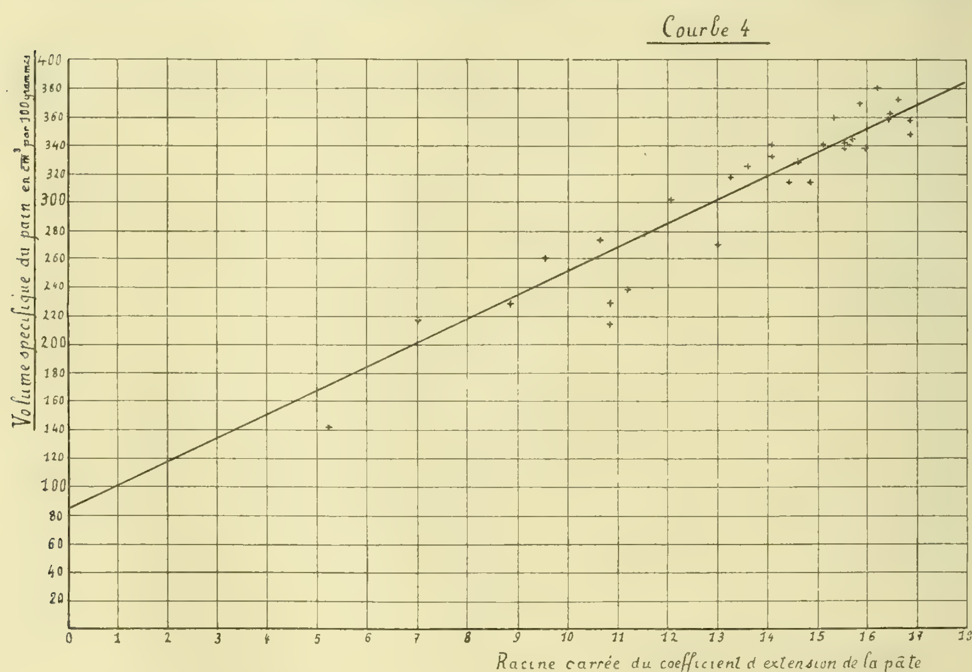


Fig. 4.

14	essais donnent K avec une erreur comprise entre			0 et 5	p. 100.
11	—	—	—	5 et 10	—
2	—	—	—	10 et 15	—
2	—	—	—	15 et 20	—

Enfin, l'écart moyen ressort à 6,24 p. 100.

Ce four a également été employé à la cuisson de pâtes de 600 g dont la masse était un peu trop forte par rapport à la capacité thermique du four, et qui, pour cette raison, n'atteignaient pas leur développement complet, la mie restant serrée au centre du pain. Ces essais satisfaisaient à la relation :

$$V - V_0 = K E^{0,4}.$$

Mais c'est là un cas anormal, car des pâtes de 600 et 1 100 g ont été

cuites dans un four de dimensions plus grandes et leur gonflement satisfaisait à la relation [1] avec une approximation du même ordre.

Cette relation est donc générale et définit la loi du gonflement panaire qui peut s'énoncer :

La différence entre le volume spécifique du pain susceptible d'être obtenu avec une farine, et le volume spécifique initial de la pâte de cette farine, est proportionnelle à la racine carrée du coefficient d'extension de cette pâte, développée en membrane mince.

Si l'on tient compte des difficultés présentées par de tels essais, effectués pendant une période de plusieurs mois, et de ce que nos 31 essais concernent les farines les plus diverses, allant de farines avariées, ou provenant des derniers passages du convertissage, aux meilleurs produits de la mouture de blés très glutineux, nous sommes amenés à conclure que cette loi approchée représente les phénomènes complexes du gonflement panaire dans ce qu'ils ont d'essentiel, et que la valeur boulangère d'une farine peut être prédéterminée d'une façon exacte par ce procédé.

Il est bien entendu que cette loi cesserait d'être applicable dans le cas anormal d'une fermentation non alcoolique, susceptible d'altérer notablement les matières glutineuses.

Mécanisme du gonflement panaire. — Montrons comment il est possible de rattacher les résultats qui viennent d'être obtenus à l'examen de la formation de la mie.

Dans une pâte convenablement travaillée et ensemencée de levure, la fermentation affecte la totalité de la pâte. En raison du grand excès de levure ou de levain employé et de la petite masse gazeuse nécessaire, on peut considérer la fermentation comme une réaction chimique qui développe des quantités d'acide carbonique supérieures aux besoins. On peut donc dire que le gonflement final n'est pas en général affecté par une activité plus ou moins grande de la fermentation, qui doit simplement être arrêtée à temps par le boulanger.

La division de la pâte qui s'opère par la formation d'un grand nombre d'alvéoles de dimensions très diverses, peut être d'autant plus poussée que cette pâte est susceptible de se convertir en membranes minces séparant les alvéoles contiguës. Au début de la cuisson, la pâte subit un deuxième accroissement de volume assez rapide, limité bientôt par la formation de la croûte extérieure. Cet accroissement de volume qui complète l'œuvre de la fermentation est d'autant plus grand que les membranes des alvéoles peuvent, sans rupture, s'étirer plus complètement. Il apparaît donc d'une façon évi-

dente que le mécanisme de formation de la mie de pain est étroitement lié à l'aptitude que possède la pâte à se développer en membrane mince, et nos résultats nous ramènent à cette constatation journalière qu'un pain est d'autant plus léger que sa mie est plus finement divisée en membranes minces.

Relation entre la ténacité de la pâte et le rendement en pain. — On a vu que la ténacité de la pâte peut être mesurée, à l'aide de l'extensimètre, par la pression P nécessaire pour déformer la membrane dans des conditions bien déterminées.

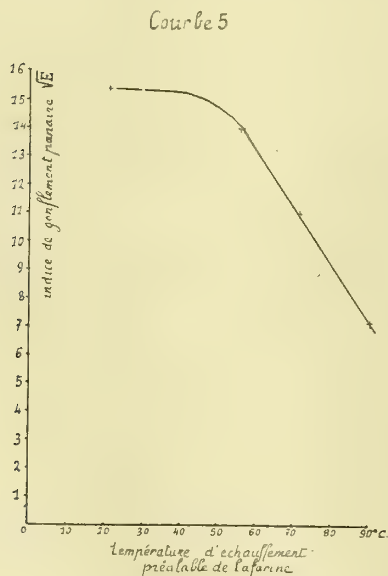


Fig. 5.

Nous avons constaté que cette grandeur est liée à l'aptitude que possède une farine d'absorber de l'eau au pétrissage, et permet, par conséquent, de se rendre compte du rendement en pain susceptible d'être obtenu avec une farine.

Le boulanger ajoute l'eau à la farine jusqu'à obtention d'une pâte dont la consistance lui paraît satisfaisante. C'est donc sur une constatation d'ordre mécanique qu'il base son appréciation. Lorsque l'extensimètre, qui opère sur une pâte obtenue avec un pourcentage d'eau constant, accuse une faible valeur pour P, c'est que cette pâte est relâchée et que la farine ne peut recevoir beaucoup d'eau au pétrissage et inversement pour une pâte ferme (P élevé). Il est donc possible de tracer une courbe rapprochant la valeur de P et le pourcentage d'eau le plus favorable en boulangerie. Nous avons commencé à réunir les éléments nécessaires à ce tracé.

Influence de la chaleur sur l'indice de gonflement panaire. — Cette influence est mise en évidence sur la courbe n° 5 (fig. 5). Une farine est divisée en lots chauffés pendant 20 minutes aux températures portées en abscisses. On voit que la dégradation des qualités élastiques de la farine est surtout sensible au delà de 50°. Cette action est connue en meunerie, où un serrage exagéré des cylindres, ou encore de trop nombreux passages aux convertisseurs, produit un effet analogue par l'élévation de température des produits moulus qui en résulte.

Conclusions. — Le contrôle de la valeur panifiable d'une farine avait été

fait jusqu'alors : soit par la recherche de la teneur en gluten, intéressante à connaître comme donnée de première approximation, mais qui ne permet pas de tenir compte de l'élasticité spécifique variable des différentes natures de gluten, ni du mode de répartition du tissu glutineux dans la pâte; soit par des essais de panification, opérations longues et dont les résultats sont difficilement comparables.

En employant l'appareil décrit dans cette étude, et en fixant les conditions à réaliser pour que les résultats obtenus caractérisent bien les propriétés mécaniques d'une pâte de farine, nous avons établi la relation qui lie le gonflement panaire et le coefficient d'extension de la pâte. Il résulte de cette relation que ce procédé permet de prédéterminer rapidement, et d'une manière exacte, l'indice de gonflement panaire d'une farine ainsi que son rendement en pain.

Notons, en terminant, que l'intérêt particulier que les hommes ont de tout temps porté à la farine de froment, provient de la faculté que possède cette farine de donner un pain levé. La loi du gonflement panaire, que nous avons mise en évidence au cours de cette étude, doit donc servir de guide au meunier et au boulanger qui chercheront à n'altérer que le moins possible les qualités élastiques originelles du blé.

MARCEL CHOPIN,

Ingénieur-conseil de la Société d'Entreprise meunière.

COMITÉ DU RETOUR AUX ÉTUDES TECHNIQUES

Compte rendu des examens du 1er degré.

Le Comité du Retour aux Études techniques (C. R. E. T.) a fait subir, les 31 janvier, 1er et 2 février derniers, aux stagiaires placés par ses soins dans divers établissements industriels, le premier des deux examens qui doivent les conduire au brevet d'ingénieur institué par la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale. On trouvera plus loin tous les détails relatifs à cet examen.

Les *Bulletins* de septembre-octobre 1919 (p. 217 à 232), de mars-avril 1920 (p. 227 à 235) et de novembre-décembre 1920 (p. 946 à 949) donnent l'exposé de la fondation du C. R. E. T., du stage en usine et des programmes des examens.

Rappelons sommairement quel était le but du Comité. Il s'agissait, en 1918, de venir en aide, à l'heure prochaine de leur démobilisation, aux militaires dont la guerre avait interrompu les études techniques, soit que, lors de leur mobilisation, ils fussent déjà reçus ou qu'ils fussent même entrés dans une des grandes écoles, soit qu'ils eussent été mobilisés au cours de leur préparation à l'une de celles-ci. Pour beaucoup d'entre eux la nécessité de gagner leur vie sans plus attendre, aussi bien que l'insuffisance de leurs ressources vis-à-vis de l'augmentation consirérable du coût de la vie d'étudiant, les mettaient dans l'obligation de rechercher un emploi dans l'industrie ou le commerce. C'eût été sacrifier les études déjà faites et renoncer aux fruits qu'ils pouvaient espérer en retirer.

Le C. R. E. T. se mit à leur disposition et rechercha pour eux des emplois dans des établissements industriels ou commerciaux dont les chefs, moyennant un arrangement équitable dans la fixation de leurs appointements, leur laisseraient la possibilité de continuer à travailler pour eux-mêmes et les y aideraient au besoin, par exemple en leur laissant du temps disponible, en leur procurant une salle de travail, ou même en leur faisant donner aide et direction dans leurs études par les ingénieurs qui les auraient sous leurs ordres (1).

(1) En même temps, le Comité s'intéressa à tous les techniciens, ingénieurs, chefs d'atelier et ouvriers démobilisés; et un nombre très considérable d'entre eux, sous la dénomination de *spécialistes*, furent placés par le Comité.

Le Comité établit pour eux un programme d'études auquel était jointe la liste des ouvrages qu'ils pourraient consulter (voir les *Bulletins* de mars-avril et novembre-décembre 1920). Il leur offrit, de plus, de leur faire passer, dans des délais appropriés, un examen à deux degrés, après lequel ils pourraient, en cas de succès, recevoir le brevet d'ingénieur précité.

Ce sont les épreuves du 1er degré de cet examen que les stagiaires viennent de subir. Le résultat, quoique assez satisfaisant dans l'ensemble puisque le jury d'examen a admis les candidats dans la proportion de 90 p. 100, appelle cependant quelques observations.

Rappelons que le programme d'études, comme l'examen, comportait, outre une partie scientifique théorique, commune à tous les candidats et comparable aux matières du baccalauréat — 2e partie mathématiques, une partie technique divisée en cinq spécialités, savoir : industrie mécanique, industrie métallurgique, industrie minière, industrie chimique, construction et travaux publics.

L'examen comportait deux compositions écrites (théorie et spécialité) et trois interrogations orales (physique et chimie, mathématiques et mécanique rationnelle, spécialité).

L'ensemble de l'examen a fait ressortir une très grande bonne volonté de la part des candidats. Ils se sont imposé, de leur plein gré, un surcroît de travail considérable en plus de leurs occupations journalières. Ils ont acquis, dans leurs spécialités respectives, des connaissances et une maturité d'esprit très appréciable, dues en partie aux lumières qu'ils trouvaient dans leurs études théoriques concomitantes. C'est là déjà un premier résultat très intéressant que d'avoir amené ces jeunes gens à approfondir la technique pratique de leur spécialité, alors qu'ils auraient pu, sans l'aiguillon et l'encouragement de l'examen, se borner à la routine de leur métier :

Mais, à part quelques sujets qui forment une tête de liste d'une distinction et d'une valeur certaines, les candidats se sont montrés généralement insuffisants en ce qui concerne la partie théorique de leurs études. Et, pour un certain nombre d'entre eux, qui forment environ le dernier quart de la liste d'admission à l'examen du 1er degré, le jury n'a pu les admettre sans restriction. Il a décidé que, en leur remettant leur diplôme provisoire, on les préviendrait qu'ils auraient à combler, dans l'intervalle de temps qui se passera avant le 2e examen, les lacunes de leur formation théorique; et que, lors du 2e examen qui, en principe, doit être essentiellement de spécialité technique, ils seraient l'objet d'une sorte d'examen de rappel en vue de s'assurer que l'insuffisance est réparée.

Quelles sont les causes de cette insuffisance pour ces jeunes gens tous pourvus de certificats ou diplômes universitaires, presque tous bacheliers

ès sciences? Elles avaient été prévues par les membres de la *Commission des voies et moyens pour permettre aux jeunes gens revenant du front d'achever leurs études d'ingénieur*, commission instituée au sein de la Société d'Encouragement, qui tint plusieurs séances au cours de l'année 1917, séances dont les procès-verbaux se trouvent au *Bulletin* de novembre-décembre 1917 (p. 389 à 409).

La Commission examinait l'éventualité que le C. R. E. T. s'est appliquée à transformer en réalité, c'est-à-dire la formation de l'ingénieur travaillant par soi-même en utilisant les livres.

« Si les résultats sont bons, disait en substance M. H. Le Chatelier, ils « auront une portée considérable. Mais une question physiologique se pose : « les jeunes gens pourront-ils s'adonner à un travail intellectuel profitable, « après un certain nombre d'heures de travail manuel ou au moins matériel?

« M. Lacoin regardait le succès comme possible, à la condition expresse « toutefois que les jeunes gens ne soient pas abandonnés à eux-mêmes, mais « dirigés; à la condition que les industriels, dans l'intérêt des jeunes gens « comme dans leur intérêt d'industriels, comprennent l'importance de l'ensei- « gnement complémentaire. »

Des renseignements qui ont pu être recueillis au cours de l'examen, on peut conclure, avec de grandes chances d'exactitude, que les deux prévisions se sont réalisées. D'une part, après une journée de dix heures et plus d'application aux travaux de leur industrie, les jeunes gens rentraient chez eux, le soir, fatigués. D'autre part, il semble bien que les directeurs ou les chefs de service, poussés sans doute par l'activité industrielle qui s'est montrée si débordante en 1920, aient un peu perdu de vue le besoin de loisir des jeunes gens, et oublié de leur donner l'aide et la direction sur lesquelles le Comité comptait en leur confiant les stagiaires.

On peut en faire la vérification, on pourrait dire la contre-épreuve, par les résultats obtenus par les candidats qui ont pu, au cours de leurs stages, suivre un enseignement théorique public, ou bénéficier d'un régime d'instruction ou de stages méthodiques comme celui qui a été organisé à la Compagnie d'Orléans, sous la direction de M. Maurice Lacoin, pour les 12 stagiaires qu'elle avait reçus. Ces jeunes gens ont donné les preuves d'une formation complète très sérieuse, dans les limites du programme, et le travail pratique, loin de nuire à leur instruction théorique, semble l'avoir fécondée. Il est certain que les jeunes gens ayant eu le bénéfice de ces mesures et le courage d'en profiter constitueront d'excellents cadres.

Par ailleurs, il ressort de l'examen que la plupart des candidats manquent de méthode de travail, ne savent pas poser la question, ordonner leur discussion et conclure; pour tout dire, ils manquent de jugement. Faut-il y voir le

résultat du dédain professé pour les études littéraires par les élèves qui suivent l'enseignement scientifique? Ce serait une contribution intéressante à l'étude qui a fait l'objet de nombreuses séances à la Société des Ingénieurs civils. Quoi qu'il en soit, le fait est là.

Il n'en reste pas moins que l'initiative prise par le Comité du Retour aux Études techniques, avec le concours de la Société d'Encouragement et de nombreux industriels, constitue, dans le domaine de la formation technique des ingénieurs, une expérience du plus haut intérêt. Et les jeunes gens, qui apprécient la valeur du service qui leur est rendu, n'ont pas ménagé, aux membres du Comité qui ont présidé à l'examen, l'expression de leur profonde reconnaissance.

EXAMENS DU 1er DEGRÉ

31 candidats seulement se sont présentés aux épreuves de l'examen du 1er degré. Ce nombre restreint est assez surprenant au premier abord.

Une enquête menée par le Comité a fait apparaître qu'un très grand nombre de stagiaires occupent, d'ores et déjà, dans les maisons ou sociétés où ils sont employés, des postes assez importants pour que, d'une part, leur légitime ambition se trouve satisfaite, et que, d'autre part, tout leur temps soit absorbé par les charges industrielles qu'ils ont à remplir. Pour ceux-là, le rôle du Comité est terminé.

Sur lés 31 candidats, 28 ont été reçus et admis au 2e examen qui se passera dans un an.

De plus, 12 stagiaires ont été placés à la Compagnie des Chemins de fer d'Orléans. Ayant suivi un programme d'études plus serré et plus accéléré, que celui du Comité, ils ont, d'accord avec le Comité, passé, en août 1920, un examen spécial qui leur permettra de se présenter ultérieurement aux examens du second degré.

Enfin, 1 stagiaire a été détaché par sa maison et a été reçu à l'Institut électrotechnique de Grenoble, où il suit les cours actuellement. En cas de succès à l'examen qui aura lieu à la fin du cours, son diplôme lui ouvrira le droit de se présenter à l'examen du 2e degré.

COMPOSITION DU JURY

M. H. Le Chatelier, membre de l'Institut, *président* : métallurgie, écrit et oral.

Lieutenant-colonel Espitallier, professeur à l'École des Travaux publics : travaux publics, écrit et oral.

Commandant Nicolardot, examinateur d'entrée à l'École polytechnique : physique et chimie, écrit et oral.

M. Dufour, Chef des Travaux pratiques du Cours de Machines au Conservatoire des Arts et Métiers : mécanique appliquée, écrit et oral.

M. Garsonnin, Inspecteur à la Compagnie P. O., répétiteur à l'École centrale des Arts et Manufactures : mathématiques et mécanique rationnelle, écrit et oral.

LISTE DES CANDIDATS REÇUS CLASSÉS PAR ORDRE DE MÉRITE

Nos 1. Vindel.
2. Burkard.
3. Rival.
4. Merlan.
5. Berger.
6. Puech.
7. Boniface.
8. Dutordoir.
9. Drivon, Girodet *ex æquo.*
11. Gougis.
12. Brissand.
13. Rebotier.
14. Legat.

Nos 15. Hartemann, Maître *ex æquo.*
17. Delaune.
18. Duquesnel, Filoque *ex æquo.*
20. De Nervo.
21. Coffy.
22. Sapin.
23. Chapuis.
24. Fayn.
25. Angibault, Delbasty *ex æquo.*
27. Pouillevet, Bomo *ex æquo.*

STAGIAIRES PLACÉS A LA COMPAGNIE DU CHEMIN DE FER D'ORLÉANS

MM. d'Argentré, Arson, Bedrède, Cabarry, Caillot, Despeaux, Fourchelot, Lehr, Le Thessier, Loir, Ricous, Vazeilles.

STAGIAIRE DÉTACHÉ PAR SON CHEF D'ÉTABLISSEMENT
A L'INSTITUT ÉLECTROTECHNIQUE DE GRENOBLE

M. Marmisse.

COMPOSITIONS ÉCRITES (*Questions posées*).

Industrie métallurgique.

1° *Métallurgie.* — Cémentation et trempe de l'acier.

2° *Chimie.* — Un long tube en porcelaine vernissée, que l'on peut chauffer électriquement à 1 400° environ à l'aide d'une spirale en ferrochrome, est rempli à froid avec du carbone pur, et bien purgé d'air. Il est ensuite chauffé à 1 400°. A ce moment, on injecte 20 g de vapeur d'eau sèche et on recueille un gaz humide, troublant l'eau de chaux, qui renferme 2 g d'eau.

On demande :

1° d'indiquer la composition du gaz sec, sachant que le poids de chaux provenant de la calcination du carbonate de calcium recueilli est de 14 g. Les poids

atomiques du calcium, du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène sont respectivement 40, 12, 1, 16;

2° de déterminer le volume qu'il occupera à 300° et sous une pression de 10 kg dans la chambre de compression d'un moteur à gaz.

3° *Chimie métallurgique.* — Fers, fontes, aciers.

Industrie chimique.

1° *Physique.* — Dans un long tube en porcelaine vernissée, chauffé électriquement au moyen d'une spirale de nickelchrome, on met un morceau de platine pesant 60 g. Quand la température de régime est atteinte, on projette le morceau de platine dans un calorimètre à eau. Il se produit une légère décomposition de l'eau; toutes les bulles gazeuses sont recueillies; leur volume à la température de 0° et à 760 mm est de 22,4 cm^3 (vingt-deux centimètres cubes et quatre dixièmes). La température du calorimètre, qui était de 15°, s'élève à 19°. Le poids en eau du calorimètre est de 0,500 kg.

Calculer la température du tube :

1° en sachant que la chaleur absorbée par la décomposition d'une *molécule-gramme* d'eau est de 68 grandes calories;

2° en admettant que le platine, dont le poids atomique est 194,8 ($O = 16$) suit régulièrement la loi de Dulong et Petit. On prendra 6,4 pour valeur moyenne de la chaleur spécifique atomique.

2° *Chimie.* — Même question que pour l'industrie métallurgique.

3° *Chimie industrielle.* — Les vernis gras.

Industries mécanique et minière.

Mathématiques. — Un cylindre creux de révolution pesant 2 kg a un rayon de 0,05 m. Sa masse est supposée entièrement répartie sur la surface latérale. On fait reposer ce cylindre par une de ses génératrices sur un plan incliné P, faisant un angle α de 150° avec un plan horizontal H auquel il se raccorde suivant la droite $\Delta\Delta'$. On abandonne le cylindre à lui-même sans vitesse initiale dans une position telle que son axe OO' soit horizontal et se trouve à 1,05 m au-dessus du plan H.

1° Étudier le mouvement du cylindre sur le plan incliné P, en supposant ce dernier parfaitement poli, et déterminer le temps au bout duquel il sera venu en contact avec le plan H.

2° Même question en supposant le plan P suffisamment rugueux pour que le cylindre roule sur lui sans glisser.

3° On suppose que, dans cette seconde hypothèse, après avoir atteint le plan H, le cylindre se met à rouler dessus sans glisser, en admettant qu'il passe du plan P au plan H sans variation de vitesse. Au bout d'un certain temps, il rencontre un obstacle formé par une pyramide homogène SABCD de densité 7,5. Cette pyramide a sa face SAB perpendiculaire à sa base ABCD. Sa hauteur est $SH = 0{,}30$ m et sa base rectangulaire a pour côté $AB = 0{,}20$ m et $AD = 0{,}10$ m. Elle repose par sa face SAB sur le plan H de façon que AB soit parallèle à $\Delta\Delta'$. Sa base ABCD est par-

faitement polie, tandis que la face SAB est rugueuse, son coefficient de frottement sur le plan H étant $f = 0,15$. On demande d'étudier ce qui se passe après que le cylindre est arrivé en contact de la base ABCD, en supposant que le choc lui-même

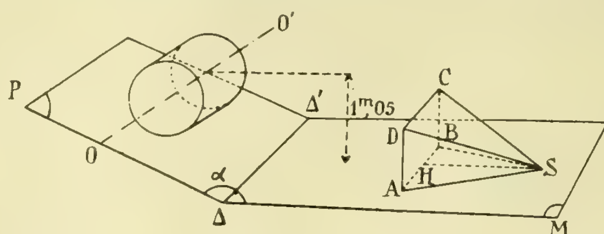


Fig. 1.

n'ait amené aucune perte de force vive et que le contact persiste après le choc, grâce à un dispositif mécanique non figuré sur le croquis.

On fera abstraction, dans tout le problème, de la résistance que rencontre le cylindre en roulant sur les plans P et H.

Industrie mécanique.

Machines. — 1° Une des deux questions suivantes au choix.

A) Essais à effectuer sur une machine à vapeur d'une centaine de chevaux, à un cylindre à double effet, en régime uniforme, en vue de déterminer son rendement mécanique et sa dépense :

1° en combustible } par cheval-heure effectif.
2° en vapeur }

Principe des méthodes et des appareils employés pour les essais, sans entrer dans les détails de construction.

Pour mémoire : le rendement mécanique est le rapport de la puissance effective à la puissance indiquée.

B) Essai d'un groupe électrogène en régime uniforme, en vue de déterminer son rendement mécanique et la dépense d'énergie à fournir au groupe par kilowatt-heure.

Ce groupe électrogène se compose, soit d'un moteur à vapeur à un cylindre à double effet, soit d'un moteur à gaz à quatre temps (au choix du candidat) et d'une dynamo à courant continu commandée par courroie.

Le rendement mécanique du groupe électrogène est défini par le rapport de la puissance effective aux bornes de la dynamo en charge, à la puissance indiquée du moteur.

a) 1° Déterminer : le rendement de la dynamo;

2° Le rendement total du groupe électrogène;

3° En déduire le rendement mécanique du moteur défini par le rapport de la puissance reçue par la dynamo à la puissance indiquée au cylindre moteur.

b) Indiquer : 1° les allures de la caractéristique en charge de la dynamo suivant le mode d'excitation, indépendante, en dérivation, série ou compound;

2° Les principales causes de pertes de travail dans la dynamo en marche normale.

N. B. — On mentionnera seulement, sans les décrire, les appareils de mesure employés pour les essais.

Construction et travaux publics.

1° *Mathématiques.* — On veut établir une plate-forme horizontale PP′ d'axe XX′ de 10 m de largeur dans un terrain dont la surface est formée par 2 plans QQ′ et RR′. Ces 2 plans se coupent suivant une horizontale BB′ ayant même cote que la plate-forme et perpendiculaire à l'axe de celle-ci.

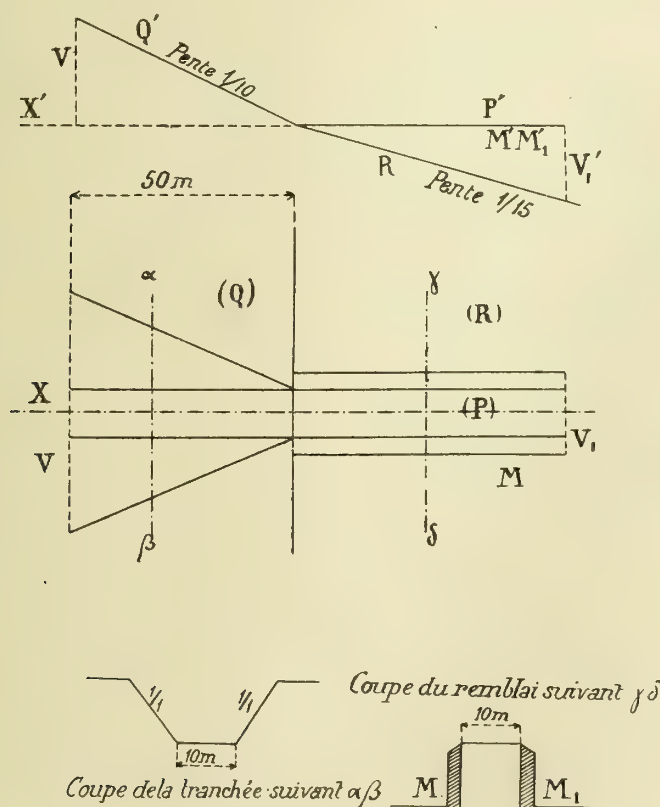


Fig. 2.

Le plan QQ′ est à gauche et au-dessus de BB′ et a pour pente 1/10. Dans la partie du terrain limitée par ce plan, la plate-forme sera établie en creusant une tranchée dont les talus auront pour pente 1/1.

Le plan RR′ est à droite et au-dessous de BB′ et a pour pente 1/15. La plate-forme s'y appuie par un remblai dont les côtés sont soutenus par 2 murs verticaux MM′ et M_1M_1' dont les faces intérieures sont à 10 m l'une de l'autre.

On demande de calculer la longueur du remblai ainsi défini qui pourra être construit avec les terres provenant du déblai d'une longueur de 50 m de la tranchée mesurée à partir de BB'. On supposera, pour simplifier, que les extrémités VV' et V_1V_1' de la tranchée et du déblai sont verticales.

2° *Mathématiques.* — Un manœuvre est occupé à transporter des matériaux à l'aide d'une brouette ayant une capacité de 0,075 m³. Il met 2 minutes pour charger sa brouette, une demi-minute pour la décharger et la vitesse de transport à l'aller et au retour est en moyenne de 40 m par minute. Sachant que la journée de ce manœuvre ressort à 25 f pour 8 heures, on demande d'exprimer, puis de représenter graphiquement, le prix de revient du transport de 1 m³ en fonction de la distance à laquelle il est transporté.

Même question pour un tombereau d'une capacité de 1 m³, en admettant que son chargement est fait en 6 minutes par 2 hommes (autres que le conducteur), que son déchargement est fait en 1 minute par 1 homme (autre que le conducteur) et que la vitesse de transport à l'aller et au retour est en moyenne de 50 m par minute. Le prix de revient de la journée de 8 heures est de 135 f pour le tombereau (conducteur et cheval compris) et de 25 f pour chacun des hommes employés à la charge et à la décharge, ceux-ci étant supposés occupés d'une façon continue à charger ou à décharger d'autres tombereaux.

Selon le trajet à effectuer, quel est le plus économique de ces 2 modes de transport? Vérifier graphiquement le résultat obtenu en adoptant des échelles convenables pour les prix et les distances.

3° *Chimie technologique.* — Une des quatre questions suivantes, au choix :

a) Indiquer les différentes espèces de liants entrant dans la composition des mortiers (chaux et ciments). Nature et propriétés. Résistance.

b) Composition et fabrication du béton de chaux hydraulique.

c) Des briques, dimensions normales de la brique en France. Fabrication sur place (à la volée ou à la flamande).

d) Propriétés caractéristiques des métaux de la famille du fer (fontes, aciers, fer).

EXAMENS ORAUX (*Questions posées*).

Métallurgie : Examinateur, M. H. LE CHATELIER.

Gazogènes. Élimination du phosphore. Essai à la bille.
Arrêt de l'opération Martin. Pyromètres. Gaz de gazogène.
Dolomie. Laminage. Dosage du carbone.
Sables de fonderie. Fontes. Estampage.
Four électrique. Briques de magnésie. Acier à outils.
Fours Siemens. Récupération. Manganèse.

Travaux publics : Examinateur, LIEUTENANT-COLONEL ESPITALLIER.

Résistance. Propriété du polygone funiculaire.
Moment fléchissant d'une poutre.
Différents systèmes de fondations superficielles et profondes.

Pilotis. Charpente. Ferme à entrait retroussé.
Tuiles.
Compression d'une pièce longue.
Calcul des solives d'un plancher.
Échantillons commerciaux.
Mur de soutènement.
Topographie. Appareils de nivellement.

Mécanique appliquée et physique industrielle : Examinateur, M. Dufour.

Sources d'énergie. Distribution dans les machines à vapeur. Équipement d'une voiture motrice électrique.

Turbines Parsons-Boveri. Moteur à gaz (Otto) à 4 temps. Chaudières à vapeur.

Accessoires des chaudières. Châssis de locomotives. Passage en courbes.

Entretien d'une circulation de vapeur dans une usine. Turbines Zoelly. Dessin d'aubages.

Orifices. Essais de chaudières. Construction de chaudières.

Tournage. Principe des principaux appareils du tour. Turbo-alternateur.

Distribution électrique. Établissement d'un réseau. Principe des transformateurs.

Dessin du tiroir de machine à vapeur. Différents systèmes de coulisses. Tirage des foyers.

Injecteurs de vapeur. Alimentation et épuration des eaux. Moteur Clerget. Détails de construction.

Vilebrequins. Turbines hydrauliques. Installation pratique. Jaugeage des cours d'eau.

Machines frigorifiques. Principe. Différents types. Réglage de la puissance frigorifique.

Visite d'installation des appareils à vapeur. Ce qu'il faut recommander aux industriels pour faire des économies de charbon.

Essai complet d'un moteur à gaz. Différences entre le moteur à explosion et le moteur à combustion interne.

Machines marines à triple expansion.

Fabrication d'outils. Application à un vilebrequin.

Alternateur. Mise en synchronisme d'alternateurs. Installation hydroélectrique. Conduite forcée, son établissement.

Mathématiques et mécanique : Examinateur, M. Garsonnin.

Mouvement d'une figure plane dans un plan. Cas particulier de la cycloïde. Tangente à la cycloïde en un point quelconque.

Hyperbole. Tracé d'un trait continu.

Résistance d'une pièce droite à la traction. Cas d'une pièce soumise à la compression. Différence avec le cas précédent.

Mouvement d'un point assujetti à décrire une courbe fixe. Cas du pendule simple.

Mouvement d'un point matériel, trajectoire, vitesse, accélération.

Graphiques de chemins de fer.

Projection d'un cône en géométrie descriptive. Intersection d'un cône par un plan. Point quelconque et tangente.

Mouvement hélicoïdal.

Définition de la dérivée $y = f(x)$. Cas de $y = uv$ et de $y = \sin x$. Représentation des variations de la fonction $y = \sin x$. Tangente à l'origine.

Mouvement d'un point matériel pesant lancé verticalement. Même problème avec vitesse initiale quelconque.

Principe du volant. Rivure d'une chaudière.

Calcul des dimensions d'une poutre rectangulaire destinée à supporter une charge uniformément répartie.

Vitesse et accélération d'un point mobile. Cas du mouvement circulaire uniforme. Mouvement des projectiles, trajectoire.

Réduction des forces appliquées à un corps.

Théorème des forces vives, application au volant.

Principe des engrenages. Module d'un engrenage.

Mouvement des projectiles; sommet de la trajectoire. Parabole. Tracé d'une tangente.

Frottements : glissement, roulement. Cas du patinage en marche et du patinage au repos. Calcul d'un volant.

Poutre reposant sur 2 appuis simples et soumise à une charge en un point quelconque. Courbe des M et des T. Méthode analytique, méthode graphique.

Équation générale du travail dans les machines.

Vitesse angulaire. Travail absorbé par un volant passant d'une vitesse W_o à une vitesse W_1.

Réduction des forces appliquées à un corps solide. Transport d'une force d'un point à un autre. Centre de gravité d'un triangle, d'un trapèze.

Dérivée, définition. Dérivée d'une somme, d'un produit.

Étudier les variations de $y = x^3 + px + q$.

Machines simples. Poulie mobile, poulie fixe. Hélice.

Effort tranchant et moment de flexion.

Vitesse absolue, d'entraînement, relative.

Mouvement d'une figure plane dans son plan. Exemple d'une droite dont les 2 extrémités sont assujetties à décrire 2 droites.

Projection d'un cercle en géométrie descriptive. Définition de l'effort normal, effort tranchant, moment de flexion. Mouvement de torsion dans la section d'une pièce.

Engrenages. Cercles primitifs.

Dynamique du point. Vitesse. Accélération.

Calcul de la tension d'une courroie en fonction de la vitesse et du nombre de chevaux à transmettre.

Mouvement d'un point sur un plan incliné. Cas du frottement.

Essais à la traction; à la compression. Flambage.

Ellipse, définition, foyers, cercle directeur.

Variation de la fonction $y = \dfrac{x^2 + x + 6}{x - 1}$.

Leviers. Calcul des dimensions.

Mouvement circulaire. Vitesse linéaire. Vitesse angulaire. Accélération.

Théorème de Guldin. Centre de gravité de l'aire d'un demi-cercle.

Volume de la pyramide, du cône. Détermination graphique du centre de gravité. Détermination graphique.

Transformation d'un mouvement circulaire continu en mouvement rectiligne alternatif.

Volume et surface de la sphère, du cône.

Définition de l'effort normal, de l'effort tranchant; moments de torsion et de flexion.

Résultante d'un système de forces données par la statique graphique.

Théorème de Bernoulli.

Formule de Torricelli.

Surfaces réglées.

Ombres d'une sphère.

Intersection d'un cône et d'un plan.

Poutre chargée : 1° d'une charge uniformément répartie; 2° d'une charge concentrée.

TRAVAUX DE LA COMMISSION D'UTILISATION DES COMBUSTIBLES [1]

Ministère des Travaux publics.

Second rapport (2).

Depuis la publication de son premier rapport, la Commission d'Utilisation des Combustibles, indépendamment de diverses questions encore à l'étude et dont il sera rendu compte dans les rapports ultérieurs, s'est particulièrement occupée des deux points suivants :

1° Instruction des ingénieurs et des contremaîtres en ce qui touche le bon emploi des combustibles;

2° Économie dans la production et l'utilisation de la vapeur.

Instruction des ingénieurs et des contremaîtres. — Sur le premier point, tout en reconnaissant le mérite et l'utilité de ce qui a déjà été fait, soit pour le développement de l'enseignement et des exercices pratiques dans les écoles, soit pour la formation du personnel dans l'industrie et dans les services de l'État, la Commission a été d'avis qu'il y a place pour des progrès nouveaux, que ces progrès sont particulièrement nécessaires à l'heure actuelle, et elle a exprimé ses conclusions dans le vœu suivant, qui a été transmis par M. le Ministre des Travaux publics aux départements ministériels intéressés :

« La Commission,

« Considérant qu'un des éléments essentiels pour l'utilisation des combustibles est l'instruction du personnel chargé de la conduite et de l'établissement des foyers industriels et des machines thermiques;

« Considérant que cette instruction est surtout indispensable au personnel technique qui assure à tous les degrés la direction d'une usine;

« Considérant que la formation des jeunes ingénieurs, telle qu'elle se fait actuellement, ne leur permet pas toujours d'acquérir à ce point de vue toute la compétence désirable; qu'il en est de même de la formation des contremaîtres,

« Émet le vœu :

« 1° Que les écoles techniques fassent dans leurs programmes d'études, sous la forme qu'elles jugeront la mieux appropriée, une part à l'enseignement théorique et pratique de la bonne utilisation des combustibles;

« 2° Que les chefs d'industrie et l'État, pour les ateliers qu'il dirige, facilitent à leur personnel d'ingénieurs et de contremaîtres, par des stages à une école de chauffe, par l'audition de conférences, par l'instruction sur place, ou de toute autre manière, les moyens d'acquérir à cet égard toutes connaissances utiles. »

(1) *Journal officiel* du 20 février 1921.
(2) Voir le *Bulletin* de janvier 1921, p. 124 à 137.

Production et utilisation de la vapeur. — Le double problème de la production économique de la vapeur et de sa bonne utilisation intéresse toutes les industries et est, pour nombre d'entre elles, d'une importance primordiale. Bien que, pour l'obtention du travail mécanique, les tendances actuelles comportent la mise en œuvre de moyens plus variés qu'à la fin du siècle dernier (machines thermiques à combustion interne, houille blanche, etc.), la machine à vapeur demeure le principal moteur industriel et, selon toute vraisemblance, le demeurera longtemps encore, grâce, notamment, aux qualités des turbines de grande puissance et aux perfectionnements récents des condenseurs.

Il n'est pas possible de caractériser par des chiffres précis l'importance actuelle de l'emploi de la vapeur dans l'industrie française, les appareils n'ayant pu encore être recensés complètement depuis la guerre; d'ailleurs, la situation des départements dévastés ne laisse à ce dénombrement qu'une valeur toute provisoire. Mais on peut rappeler que, en 1913, on comptait dans la France d'alors, à laquelle l'Alsace-Lorraine manquait, 125.000 chaudières en activité, tant pour la production du travail moteur que pour les élaborations diverses et le chauffage, et que les chaudières affectées à la production du travail actionnaient 103.000 machines d'une puissance globale de 15 millions et demi de chevaux.

Sur ce total, les locomotives des chemins de fer et tramways, au nombre de 17.000, représentaient 11.800.000 chevaux. Ces locomotives ont consommé, durant l'année 1913, 8.300.000 t de houille, briquettes et coke, soit environ 13 p. 100 de la consommation totale de combustibles minéraux qui a eu lieu en France, pour tous usages, durant ladite année.

La question de l'économie de combustible sur les chemins de fer est donc d'importance, encore que l'attention constante dont elle est l'objet de la part des compagnies ne permette pas d'espérer facilement, dans ce domaine, des augmentations de rendement comparables à celles dont il va être parlé pour les autres industries. Quoi qu'il en soit, la question est à l'étude par les soins de la première sous-commission, qui a provoqué sur un certain nombre de points les observations des compagnies de chemins de fer et procède à l'examen de ces observations avec toute l'attention qu'elles méritent.

Pour le moment, c'est sur les économies de charbon et de vapeur réalisables dans la généralité des établissements industriels que nous voudrions appeler l'attention.

M. V. Kammerer a bien voulu établir, au nom de la première sous-commission, un rapport résumant les règles à suivre et les perfectionnements à mettre en œuvre dans les cas les plus courants, spécialement dans le cas des installations de puissance moyenne, dont, à raison de leur nombre, le fonctionnement économique importe grandement à l'intérêt général.

Le rapport comprend deux parties, respectivement relatives à la production de la vapeur et à son utilisation.

On trouvera ci-après la première partie de ce rapport.

Le vice-président de la Commission,
WALCKENAER.

Le secrétaire.
LANCRENON.

Production et utilisation de la vapeur.

RAPPORT DE LA 1re SOUS-COMMISSION

I. — *Production de la vapeur.*

Les attributions de la première sous-commission comprennent, entre autres, la production et l'utilisation de la vapeur. C'est un sujet extrêmement vaste qui intéresse presque toutes les branches de l'industrie. Pour être traité d'une façon tant soit peu

complète, il nécessiterait plusieurs volumes. Nous ne pouvons donc avoir la prétention, dans un rapport forcément succinct, ni d'en embrasser tout l'ensemble, ni d'en épuiser une partie. Ce que nous voudrions, c'est examiner rapidement les conditions d'établissement et de fonctionnement des installations, pour la production de la vapeur d'abord, pour son utilisation ensuite, telles qu'elles se présentent à nous dans les cas les plus courants et indiquer, chemin faisant, quelles seraient les modifications, soit dans leur usage, soit dans leur état, susceptibles d'en améliorer le rendement et de réaliser par là des économies de combustible.

Un grand nombre d'installations existantes sont affligées de défauts intrinsèques plus ou moins graves qu'il ne peut être question d'éliminer du jour au lendemain, surtout actuellement, où les matériaux et la main-d'œuvre sont chers et les délais encore longs. Mais on peut souvent, connaissant les défauts d'une installation, au moins les corriger ou les atténuer, avec de la bonne volonté et en faisant des appareils existants un meilleur usage. Toutefois, question de possibilité et de délai de livraison mise à part, les prix élevés des matières et de la main-d'œuvre ne justifient pas la non-exécution de perfectionnements ou de remplacements jugés utiles, car le prix des appareils et des machines n'a pas augmenté dans une proportion plus forte que celui des combustibles, de sorte que l'amortissement des sommes dépensées pour améliorer une installation se fait au moins aussi rapidement qu'autrefois.

Soins à donner au combustible. — Dès avant l'entrée du combustible dans la chaufferie, il convient de se préoccuper de lui conserver autant que possible ses qualités et de prendre à cet égard des précautions qui varieront d'une catégorie à une autre.

Par exemple, le bois et le coke sont plus sensibles que d'autres combustibles aux effets de l'humidité, qu'ils absorbent très facilement.

On sait, d'autre part, que presque tous les charbons, surtout ceux de formation récente contenant beaucoup de matières volatiles — et plus particulièrement les lignites — sont enclins à s'oxyder au contact de l'air, et les dégagements de chaleur qui accompagnent toujours cette oxydation peuvent élever la température jusqu'à produire une combustion spontanée. D'ailleurs, dans certains cas, les pertes de pouvoir calorifique qui résultent de l'oxydation lente ne sont pas négligeables. Le phénomène est d'autant plus rapide, pour une houille donnée, que la température est plus élevée, l'humidité plus grande et le grain plus fin, c'est-à-dire la surface de contact avec l'air plus développée. La présence de pyrites paraît agir dans le même sens en favorisant le délitement. Cependant, le tassement même des combustibles menus empêche, dans une certaine mesure, l'air de pénétrer profondément; ce sont les tout-venants ou les mélanges hétéroclites qui sont le plus exposés à l'oxydation, parce que les interstices entre les morceaux favorisent l'adduction de l'air aux couches profondes insuffisamment refroidies. C'est là l'une des causes d'infériorité des tout-venants vis-à-vis des charbons classés.

Dans tous les cas, il faut éviter de jeter pêle-mêle sur un tas, surtout en grande hauteur, des houilles de provenances et de dimensions différentes. Non seulement pour la conservation, mais aussi pour l'utilisation, il y a grand intérêt à séparer les diverses qualités pour se réserver la possibilité, soit d'attribuer aux différents foyers les sortes qui leur conviennent le mieux, soit de constituer, au moment de l'emploi, des mélanges correctifs, soit, en général, de régler la mise en œuvre de chaque combustible suivant ses qualités particulières.

Le rendement. — La grandeur et la puissance d'une installation ont une influence marquée sur le rendement et sur l'opportunité d'y appliquer tel perfectionnement, telle complication ou telle méthode scientifique de travail.

Nous envisagerons surtout les installations moyennes qui, par leur nombre et leur consommation, jouent un rôle prépondérant. Toutefois, la plupart des considérations et

des conclusions pourront s'appliquer également aux petites installations aussi bien qu'aux très grandes.

La production de la vapeur comprend le phénomène de la combustion, c'est-à-dire le dégagement de la chaleur, d'une part, et la transmission de celle-ci à l'eau ou à la vapeur, d'autre part. Chacune de ces deux phases donne lieu à un certain déchet. Toute l'énergie calorifique contenue dans le combustible n'est pas dégagée : il en reste, sous forme d'escarbilles dans les cendres, sous forme de coke dans les mâchefers, sous forme d'hydrocarbures, d'oxyde de carbone et de suie dans les gaz; quant à la chaleur effectivement dégagée, elle ne concourt pas toute à la production de la vapeur, soit par suite du rayonnement et du refroidissement extérieurs, soit parce qu'une partie en est emportée par les gaz évacués à la cheminée.

Quelle est en général l'importance de ces pertes et leur valeur relative dans la pratique courante? C'est là une question primordiale par laquelle nous croyons devoir commencer notre étude.

Pour ne pas nous contenter de quelques exemples hypothétiques ou d'estimations plus ou moins vagues, nous avons pris, parmi les nombreux essais de vaporisation exécutés par l'Association alsacienne des Propriétaires d'Appareils à vapeur, cinquante essais faits pendant les trois dernières années avant la guerre dans des chaufferies moyennes plus ou moins anciennes, appartenant à diverses industries et donnant une représentation aussi nette que possible des conditions de marche de la moyenne industrie. Ces installations comportaient les chaudières les plus diverses : à bouilleurs, semi-tubulaires, à foyers intérieurs, multitubulaires, etc., toutes chauffées à la main avec des surfaces de chauffe unitaires allant de 29 à 160 m² dont environ la moitié munies de réchauffeurs. On a écarté systématiquement toutes les installations employant des combustibles anormaux ou inférieurs, ou des appareils de réglage spéciaux. Tous les essais considérés ont été exécutés suivant la méthode habituelle de l'Association avec les relevés nécessaires pour la séparation des pertes; ils ont porté sur une durée d'au moins vingt-quatre heures, c'est-à-dire qu'ils comprenaient l'ensemble des pertes pendant les arrêts, la nuit et les allumages. Ils visaient uniquement la constatation du régime de marche et du rendement, avec la préoccupation de troubler le moins possible le fonctionnement habituel et de ne pas influencer les chauffeurs. La moyenne des rendements globaux ainsi obtenus a été de 65,7 p. 100, rapportés au pouvoir calorifique utile (dit inférieur) du combustible et comprenant l'ensemble de l'installation, chaudières, réchauffeurs et éventuellement surchauffeurs. Une fraction égale à 34,3 p. 100 de l'énergie calorifique du combustible était donc perdue en moyenne dans ces cinquante installations. Là-dessus, 18,2 p. 100 de la chaleur étaient emportés par les gaz sous forme de chaleur sensible. Les autres pertes, représentant 16,1 p. 100, peuvent être réparties approximativement comme suit :

3,3 p. 100 pour le rayonnement et le refroidissement pendant la marche;

3,3 p. 100 pour le refroidissement pendant les arrêts et la nuit;

3,5 p. 100 pour les imbrûlés dans les déchets, cendres et mâchefers, et la chaleur inhérente à ceux-ci au moment où on les sort du foyer;

6 p. 100 perdus par combustion incomplète des gaz, formation de suie, etc.

On voit que, d'un point de vue général, c'est la perte par chaleur sensible qui est la plus importante; celle par combustion incomplète occupe le second rang; enfin, les trois autres sont à peu près du même ordre de grandeur. Il est bien entendu que cette répartition n'a rien d'absolu et qu'elle suppose des conditions normales avec chargement à la main. Dans certains cas, l'une ou l'autre de ces pertes peut prendre, pour des raisons spéciales, une importance beaucoup plus grande que celle qui lui est attribuée, ainsi que nous le verrons dans la suite.

Les pertes. — Il convient maintenant d'examiner d'un peu plus près ces différentes

pertes et d'en établir la cause pour voir par quels moyens et dans quelles limites on peut les réduire.

La *perte par rayonnement et refroidissement* est généralement assez faible lorsque les enveloppes calorifuges et les maçonneries sont bien établies. Elle est relativement d'autant moindre que les unités de générateurs sont plus fortes, que les surfaces extérieures sont plus réduites et que les maçonneries et enveloppes sont plus épaisses. Pour les chaudières à carneaux extérieurs, elle augmente en valeur absolue avec l'allure, puisque les températures s'élèvent; quand les carneaux sont tous intérieurs, elle ne dépend à peu près que de la pression de marche. Pour réduire cette perte dans des installations existantes, il faut compléter les isolants, blocages, enduits, etc., et les entretenir en parfait état; il faut aussi éviter les courants d'air et les intempéries.

Les *pertes par refroidissement dans les arrêts*, qui intéressent principalement les installations à marche diurne ou intermittente, sont du même genre et du même ordre de grandeur et les mêmes remèdes s'y appliquent. Il convient, en outre, de fermer portes et registres pour empêcher les rentrées d'air, qui, même pendant les arrêts, emporteraient de la chaleur à la cheminée, et d'épuiser autant que possible, avant les arrêts, la chaleur emmagasinée dans toutes les masses chauffées en ralentissant la combustion, laissant tomber la pression, alimentant, etc.

Les *pertes pour imbrûlés dans les déchets* comprennent les escarbilles tombées à travers la grille, les matières combustibles enrobées dans les mâchefers et, dans certains cas, les particules de coke entraînées dans les carneaux. Les premières dépendent surtout des dimensions géométriques et du calibrage régulier du combustible et de l'appropriation des grilles, écartement des barreaux, entretien, etc.; les secondes dépendent aussi dans une très large mesure du combustible, de son homogénéité comme calibrage et qualité, de sa tenue au feu et de sa teneur en cendres, enfin de l'habileté du chauffeur à conduire le feu et à opérer le décrassage. Avec un combustible approprié, homogène et bien calibré, ne dépassant pas 15 p. 100 de cendres, ces pertes peuvent se réduire à 1 ou 2 p. 100 si le chauffeur est tant soit peu attentif et habile. La technique est d'ailleurs assez simple; elle consiste à ne pas remuer inutilement le feu, à savoir décrasser convenablement et au moment voulu et à remettre en train graduellement après les décrassages. Avec des combustibles tout-venants et des mélanges hétéroclites, sans même parler des combustibles inférieurs contenant plus de 20 à 25 p. 100 de cendres, il est difficile, même à un chauffeur habile et de bonne volonté, de réduire cette perte au-dessous de 4 à 5 p. 100 et, si l'influence de la valeur professionnelle du chauffeur est indéniable, celle de la nature du combustible est, à notre avis, plus importante.

Pour les foyers automatiques et les grilles mécaniques, c'est une question d'espèce, qu'il n'est pas possible d'examiner ici en détail. Mentionnons seulement que, lorsque les conditions sont favorables, la perte peut être presque nulle, mais qu'inversement, dans certains cas, elle peut dépasser de beaucoup celle que l'on constate habituellement avec le chauffage à la main.

Signalons en passant les divers procédés qui permettent de récupérer les escarbilles et le coke contenus dans les cendres et mâchefers. Ce sont : le triage à la main, le triage mécanique, la séparation par voie humide, enfin la séparation magnétique par voie sèche, basée sur le fait que les cendres et scories contiennent du fer dans une proportion généralement suffisante pour produire une attraction. Tous ces procédés peuvent être utiles pour récupérer une partie des imbrûlés dans les installations importantes, mais il paraît plus logique de séparer du charbon les matières inertes sur le carreau de la mine ou au point d'importation, plutôt que de faire après coup le triage du coke non brûlé dans les résidus de la combustion.

Nous arrivons maintenant aux pertes les plus importantes, celles par *combustion incomplète* et par *chaleur sensible*. Quoique de nature essentiellement différente, ces deux pertes sont cependant si étroitement liées l'une à l'autre qu'il est difficile de les traiter

d'une façon complètement séparée. Le principe fondamental d'une bonne combustion et d'une bonne conduite du feu consiste à admettre à chaque instant (c'est-à-dire pour chaque phase de la combustion) la quantité d'air nécessaire et suffisante à la combustion complète.

Or, les combustibles solides contiennent tous du carbone fixe et une quantité variable de gaz ou de matières volatiles. C'est par la proportion de ces dernières qu'ils se différencient principalement : le coke n'en contient presque pas, puis viennent, dans l'ordre croissant de la teneur en matières volatiles, l'anthracite, les houilles maigres, demi-grasses, grasses, flambantes, les flénus, le lignite, la tourbe et enfin le bois, qui en contient le plus. Lorsqu'on jette l'un de ces combustibles dans un foyer déjà en ignition, il se produit d'abord une distillation d'autant plus rapide et plus abondante que le combustible contient plus de matières volatiles et que la température du foyer est plus élevée. Ces gaz, constitués principalement par des hydrocarbures, ont besoin, pour brûler complètement, de trouver, pendant la courte période de leur dégagement, une quantité d'air qui puisse s'y mélanger rapidement et ne pas trop abaisser la température. Au contraire, le carbone fixe, qui, sous forme de coke, constitue la couche de combustible après la distillation, brûle lentement et n'exige, de ce fait, qu'une quantité d'air bien moindre.

Le phénomène de la combustion dans un foyer chargé à la main est donc périodique et, pour ainsi dire, ondulatoire. Il y a, pendant la première phase, une tendance très nette au manque d'air et, pendant la seconde, une tendance à l'excès. C'est pendant la première que se dégage avec les houilles bitumineuses la fumée opaque et que se forme la suie, indices de la combustion incomplète des hydrocarbures. Celle-ci est, d'ailleurs, favorisée par le refroidissement prématuré que subit le mélange gazeux, s'il arrive trop tôt en contact avec les surfaces de chauffe.

On conçoit, par conséquent, qu'il faille avoir des chambres de combustion et des foyers d'autant plus vastes que les combustibles sont plus riches en matières volatiles.

Mais la manière d'opérer du chauffeur peut influer grandement sur la marche de la combustion et sa perfection. A cet effet, deux moyens principaux sont à sa disposition : il peut ou bien régler l'admission d'air suivant les besoins instantanés, ou bien ne charger que très peu à la fois et très fréquemment. La première méthode, qui consiste à donner beaucoup de tirage dès après la charge, pour le diminuer lentement jusqu'à la nouvelle période de chargement, nécessite la manœuvre continuelle du registre et nous paraît bien difficile à obtenir d'un chauffeur. Elle crée une sujétion de tous les instants que l'on ne peut pas lui demander, surtout s'il a plusieurs foyers à desservir. C'est pourquoi il vaut en général mieux inciter les chauffeurs à charger souvent par petites quantités et à courts intervalles.

Il existe d'ailleurs des tours de main qui cherchent à remédier au manque d'air de la première phase de la combustion.

L'un d'eux consiste à charger la houille fraîche à l'avant de la grille de manière que la distillation soit ralentie et que les gaz qui en résultent soient obligés de passer sur l'arrière où ils trouvent l'air nécessaire; mais il faut, avant la charge suivante, refouler à l'arrière le coke formé. Cette méthode exige donc l'emploi du racloir et de la pelle, nécessite une ouverture plus longue des portes et donne plus de travail.

Un autre moyen consiste à admettre au-dessus de la grille, pendant quelques instants après la charge, l'air supplémentaire, dit secondaire, soit en ouvrant un petit papillon disposé dans la porte de chargement, soit en laissant celle-ci entre-bâillée pendant quelques instants, soit par tout autre moyen. Toutefois, cet air doit, si possible, être chauffé.

Souvent, il est vrai, la dislocation des portes et les fentes dans les devantures donnent passage à l'air secondaire sans que le chauffeur intervienne; mais alors, si cet air est utile dans la phase de distillation, il est nuisible pendant la phase de la combustion du coke.

Il va sans dire que les inventeurs se sont ingéniés à concevoir et à construire des appareils destinés à régler l'admission d'air aux foyers suivant les nécessités de la com-

bustion, soit en dessous, soit au-dessus de la grille. Certains de ces appareils ont fait leurs preuves et permettent de réaliser, surtout avec des houilles fumeuses, des économies qui peuvent aller jusqu'à 10 p. 100 et qui sont dues à la diminution des pertes aussi bien par combustion incomplète que par excès d'air.

Quoi qu'il en soit, le moyen le plus efficace d'assurer une combustion parfaite, et qui mérite d'être pris en considération chaque fois que l'on a affaire à des chaufferies un peu importantes, est l'emploi d'un foyer à chargement mécanique. Un foyer automatique bien compris, bien adapté au combustible et à la chaudière, bien conduit, aura presque toujours pour effet de diminuer la perte par combustion incomplète, tout en libérant le chauffeur d'un travail pénible et souvent délicat.

Les hydrocarbures, la fumée et la suie échappant à la combustion pendant la phase de distillation ne sont toutefois pas les seuls éléments de la combustion incomplète. A l'intérieur de la couche incandescente de coke qui reste après la distillation et forme la base du feu, il se produit au contact de l'air qui la traverse de l'anhydride carbonique et de l'oxyde de carbone dans des proportions qui dépendent de la vitesse de l'air, de la température et de l'épaisseur de la couche. Si l'oxyde de carbone ainsi formé ne trouve pas, en sortant de la couche, l'air nécessaire à sa combustion, il s'échappe sans brûler. L'oxyde de carbone se produit donc plus particulièrement pendant la phase de distillation et lorsque la couche de combustible est épaisse ou peu perméable à l'air; c'est pourquoi il est assez fréquent avec des houilles fumeuses d'une part, et d'autre part, avec des feux de coke à forte épaisseur ou dans les foyers soufflés pour combustibles menus.

On comprend par ce qui précède que les pertes par combustion incomplète sont extrêmement variables d'un moment à l'autre, non seulement suivant les phases de la combustion, mais encore suivant le tirage, l'épaisseur de la couche, l'habileté du chauffeur et la nature du combustible. C'est encore, toute autre chose égale, avec un combustible bien calibré et bien homogène qu'il est le plus facile de les éviter et de les réduire. Elles sont aussi très difficiles à déterminer, car il faut procéder à des analyses de gaz minutieuses et délicates, d'autant plus que les gaz combustibles en question ne se trouvent généralement qu'en très faibles proportions. C'est en raison de ces difficultés que leur présence a été trop souvent ignorée ou négligée et la perte qui en résulte jugée insignifiante, quoique, en réalité, à ces faibles proportions, correspondent des pertes considérables. Celles-ci sont, d'après notre expérience, dans les installations courantes avec foyers chargés à la main, de l'ordre de grandeur de 5 à 6 p. 100 et peuvent atteindre dans des cas défavorables le double et même le triple de cette valeur.

Le conseil que, dans la bonne intention de réduire l'excès d'air, on donne si souvent aux chauffeurs, de fermer le plus possible le registre et de diminuer le tirage, n'est peut-être pas étranger au fait que l'on rencontre en moyenne actuellement beaucoup plus de foyers faisant de la combustion incomplète que ce n'était le cas avant la guerre. On oublie d'y ajouter la recommandation, tout aussi importante, qu'il ne faut jamais baisser le registre au-dessous de la limite où les feux cessent d'être clairs.

La *perte par chaleur sensible*, que l'on appelle souvent aussi perte à la cheminée (quoiqu'en somme ce terme s'applique également aux gaz non brûlés) est déterminée par le produit de trois facteurs : masse totale des gaz évacués, chaleur spécifique de ces gaz et excès de leur température sur celle de l'atmosphère ambiante. Certains auteurs distinguent entre la chaleur emportée par les gaz provenant de la combustion supposée sans excès d'air, et la chaleur nécessaire à échauffer l'air n'ayant pas participé à la combustion. Cette distinction nous paraît un peu spécieuse. En effet, toute variation dans la quantité d'air admise au foyer influe sur le régime des températures et par conséquent sur la température finale, de sorte que l'on ne peut pas séparer d'une façon simple la perte inévitable qui serait produite par la combustion théorique de celle qui est due à l'excès d'air.

La quantité des gaz évacués à la cheminée se détermine, comme l'on sait, par l'analyse de ces gaz et plus spécialement par la recherche de leur teneur en anhydride carbonique,

dont la proportion est d'autant moindre que les gaz de la combustion sont plus dilués. Si la combustion pouvait être opérée avec le volume d'air théorique (c'est-à-dire minimum), la teneur en gaz carbonique atteindrait 21 p. 100 pour le carbone pur ou les combustibles qui, comme la cellulose, ne contiennent pas d'hydrogène libre; elle serait d'environ 18,7 p. 100 pour la houille et aurait des valeurs moindres pour les combustibles très hydrogénés, tels que le pétrole. En réalité, cette teneur est toujours plus faible que le chiffre théorique; l'écart, souvent considérable, décèle l'excès d'air.

Quelles sont les causes d'un *excès d'air* exagéré pour les foyers à la main? Ce sont : la présence de trous dans la couche de combustible sur la grille ; le tirage trop fort, c'est-à-dire l'ouverture trop grande des registres ou la pression trop forte dans le cendrier pour les foyers soufflés; l'ouverture trop longue et trop fréquente des portes de chargement; les rentrées d'air permanentes par la devanture, les maçonneries, regards, portes de nettoyage, etc.

Passons rapidement en revue ces diverses causes.

Les trous et les voies d'air dans la couche de combustible sont dus, la plupart du temps, à l'inhabileté et au manque d'attention du chauffeur, ou encore à la mauvaise habitude de piquer le feu trop fréquemment; mais la qualité du combustible y est pour beaucoup et plus souvent qu'on ne pense. En effet, le chauffeur ne peut obtenir une couche bien uniforme que s'il dispose d'un combustible homogène, de calibrage bien régulier et pas trop fort. Même avec de la bonne volonté, il n'arrivera que difficilement à éviter les trous et ne pourra pas empêcher les inégalités d'épaisseur et les voies d'air avec du tout-venant ou des mélanges de dimensions très variées.

Le tirage, ou plutôt la différence de pression entre le dessous et le dessus de la grille, doit être réglé suivant la résistance de la couche et l'allure de combustion que l'on veut obtenir. Si cette allure est trop faible, il faut réduire les dimensions de la grille, par un blocage, par exemple; si l'allure n'est faible qu'à certaines heures de la journée ou temporairement, on peut couvrir l'arrière de la grille par des cendres et mâchefers. Dans tous les cas, le chauffeur doit tendre à marcher avec le minimum de tirage ou de pression d'air compatible avec le maintien de la pression de vapeur et l'obtention de la combustion complète. Ce réglage est parfois assez négligé et, pour être plus tranquilles et avoir à intervenir moins souvent, certains chauffeurs ont tendance à exagérer le tirage. Mais, d'autre part, il convient de rendre au chauffeur la manœuvre du registre ou du dispositif de réglage aussi aisée que possible en mettant la commande à la portée de sa main, en équilibrant bien les poids, en graissant les organes de transmission, en remplaçant au besoin des registres trop lourds par d'autres plus faciles à manier, tels que ceux à persiennes.

Enfin, il faut donner au chauffeur les moyens de constater la position du registre ou du papillon par l'adjonction d'une échelle graduée et de contrôler le tirage ou la dépression au moyen d'un manomètre de tirage, qui peut être constitué par un simple tube en U ou appareil à tube incliné. Plus on facilitera au chauffeur sa tâche, déjà fort pénible en elle-même, plus on pourra lui demander d'avoir le souci de l'économie. Nous signalerons à cette occasion qu'il existe des régulateurs automatiques de tirage qui agissent sur le registre principal de l'installation, qu'ils ouvrent ou ferment suivant que la pression de la vapeur baisse ou monte. Dans les chaufferies à demande de vapeur très variable, ces appareils peuvent rendre des services et procurer des économies.

L'ouverture des portes de chargement, quand elle se prolonge outre mesure, peut également être une cause d'excès d'air. Il faut, par conséquent, que les charges et les manipulations des portes se fassent aussi rapidement que possible et que le combustible à charger se trouve à portée de la pelle. On recommande souvent de réduire le tirage lors de chaque ouverture des portes et en particulier pendant les charges. On a même imaginé divers dispositifs empêchant l'ouverture des portes avant que le registre ne soit abaissé. Ces dispositifs peuvent être utiles, à condition de ne pas gêner les mouvements du chauf-

feur et de ne pas fermer complètement le registre, ce qui pourrait donner lieu à des retours de flamme et même, avec les houilles fumeuses, à des explosions de gaz.

Lors des décrassages, qui demandent un temps plus long que les simples charges, on devrait toujours réduire le tirage, afin d'éviter un refroidissement excessif.

Mais toutes ces *rentrées d'air* intermittentes sont généralement moins importantes que celles qui se produisent d'une façon permanente par les portes mal fermées, les devantures disjointes, les maçonneries fissurées autour des regards, les tampons (de nettoyage et autres) mal appliqués. L'air qui rentre à l'arrière des chaudières, par exemple par le cadre du registre mal fermé d'une chaudière voisine en chômage, est encore nuisible lorsqu'il y a des réchauffeurs qui, eux-mêmes, sont d'ailleurs souvent très perméables à l'air.

On peut admettre que, dans une installation moyenne, environ le tiers du volume des gaz est constitué par du faux air, souvent même bien davantage.

En prenant toutes les précautions connues et en maintenant les maçonneries en parfait état, on peut arriver à réduire les rentrées d'air à environ un cinquième et même moins s'il s'agit de chaudières en batterie à murs très épais. Il n'y a en somme que les chaudières à carneaux complètement intérieurs ou à revêtement métallique qui soient tout à fait étanches.

Le chauffeur doit évidemment signaler les défauts d'étanchéité qu'il remarque, mais le soin d'y remédier et d'entretenir les maçonneries ne peut guère lui incomber; c'est l'affaire du service d'entretien et de la direction de l'usine, qui doit y veiller d'autant plus que les rentrées d'air ne se voient pas, comme les fuites de vapeur par exemple, et qu'elles sont en général plus préjudiciables au rendement.

Plus grande est la différence de pression entre l'atmosphère extérieure et la chambre de combustion ou les carneaux, plus les rentrées sont fortes. Le soufflage sous la grille réduit donc l'importance des rentrées d'air. On cherche généralement à maintenir à peu près la pression atmosphérique au-dessus de la grille (tirage équilibré), ce qui évite les appels d'air pendant l'ouverture des portes du foyer. C'est là un des avantages appréciables du soufflage. Il paraît d'ailleurs rationnel de n'utiliser l'action de la cheminée que pour l'évacuation des gaz : la quantité d'air à souffler est moindre que celle des gaz à évacuer et sa température généralement aussi, d'où il suit que le tirage par pulsion absorbe moins de travail que celui par aspiration, lorsqu'il se fait mécaniquement.

Nous n'avons examiné jusqu'ici que l'un des facteurs de la perte à la cheminée, à savoir la masse des gaz évacués. Un autre facteur de cette perte, non moins important que le premier, est la *température finale* de ces gaz. Il n'est pas inutile de se rendre compte que, avec un excès d'air de 100 p. 100 à la sortie, une augmentation de température d'environ 13 degrés équivaut à 1 p. 100 de perte supplémentaire rapportée à la houille brûlée; la perte supplémentaire est plus forte si l'excès d'air est plus grand.

Une valeur élevée de la température des gaz au sortir de la cheminée dénote une absorption insuffisante de la chaleur par les surfaces de chauffe. Cette insuffisance d'absorption peut être due, soit à un manque de propreté des parois, soit à des courts-circuits dans les carneaux (provenant, par exemple, de cloisons démolies), soit enfin à une charge trop forte de la surface de chauffe ou, ce qui revient au même, à une surface de chauffe trop exiguë.

La *propreté des parois* a une influence incontestable sur la transmission de la chaleur. Cette transmission est surtout ralentie par les dépôts extérieurs de suie et de cendres. Les dépôts intérieurs sont très préjudiciables à la sécurité, mais leur effet est peu sensible sur le rendement. Au contraire, la suie occasionne souvent des surcroîts de température de 50 à 100 degrés, correspondant à des pertes supplémentaires de 4 à 7 p. 100. Les ramonages fréquents, le soufflage et le brossage presque quotidiens des tubes à fumée ou à eau ne peuvent donc être que vivement recommandés. Il est, pour les mêmes raisons, inexcusable de ne pas se servir journellement des racloirs automatiques dont sont généralement munis les réchauffeurs tubulaires et de laisser ceux-ci s'enrober de suie.

D'autre part, pour éviter les *courts-circuits*, il est très important d'entretenir intactes toutes les murettes de séparation, cloisonnages, joints, etc., qui tracent le parcours des gaz et, pour cela, de visiter souvent les carneaux.

Enfin, et sans préjudice de l'importance qui s'attache au nettoyage des surfaces et au bon entretien des cloisons, nous sommes d'avis qu'une des causes principales des hautes températures d'évacuation des gaz et, partant, des pertes considérables par chaleur sensible réside dans l'*insuffisance des surfaces de chauffe.*

En effet, une *surface de chauffe largement calculée* est le correctif le plus efficace et le plus sûr, on pourrait presque dire automatique, de toutes les circonstances défavorables qui tendent à augmenter les pertes par chaleur sensible, qu'elles soient dues à la conduite du feu, aux rentrées d'air ou au manque de nettoyage; seuls, naturellement, les gaz non brûlés lui échappent.

Toutes les surfaces de chauffe concourent à ce résultat, qu'elles appartiennent aux générateurs proprement dits, aux surchauffeurs ou aux réchauffeurs. Mais ce sont surtout ces derniers qui, en raison de l'écart de température plus grand, permettent d'épuiser la chaleur sensible des gaz en abaissant la température juqu'au degré compatible avec les exigences du tirage. Les réchauffeurs d'air peuvent remplir le même rôle.

Pour corroborer cette thèse, que nous avons toujours considérée comme fondamentale en matière de rendement des chaudières, il nous suffira de reprendre un peu plus en détail les résultats des cinquante essais dont nous avons déjà parlé plus haut. Nous avons vu que la moyenne des rendements globaux constatés avait une valeur de 65,7 p. 100.

Ces rendements s'échelonnent de la façon suivante :

1 de moins de 50 p. 100.
3 de 50 à 55 p. 100.
6 de 55 à 60 p. 100.
12 de 60 à 65 p. 100.
11 de 65 à 70 p. 1000.
9 de 70 à 75 p. 100.
8 de 75 p. 100 et au delà.

Nous pouvons classer ces installations en 3 catégories.

A. Celles dont le rendement est mauvais, c'est-à-dire inférieur à 60 p. 100.

B. Celles dont le rendement est passable, compris entre 60 et 70 p. 100.

C. Celles dont le rendement est bon, c'est-à-dire supérieur à 70 p. 100.

Le tableau ci-après donne pour chacune de ces catégories la répartition des pertes et différents autres renseignements.

Ce qui différencie les installations à bon rendement de celles à mauvais rendement, ce sont, d'une part, les pertes par chaleur sensible, qui tombent de 22 à 12,7 p. 100, d'autre part, les pertes par combustion incomplète, qui tombent de 11 à 4,9 p. 100. Si la diminution des pertes par combustion incomplète peut être attribuée, pour la plus grande partie, à une meilleure conduite de la chauffe ou encore à une meilleure qualité ou appropriation du combustible, il n'en est pas de même de la diminution des pertes par chaleur sensible; celle-ci n'est pas due, ainsi que l'on aurait pu s'y attendre, à un excès d'air plus faible, résultat d'une meilleure chauffe, ou à une étanchéité plus grande de la maçonnerie. La moyenne des teneurs en gaz carbonique prises à l'arrière des chaudières est sensiblement égale pour les trois catégories d'installations. Elle est même (évidemment par un effet du hasard) un peu plus élevée pour les installations les moins bonnes.

Par conséquent, s'il y a une diminution des pertes par chaleur sensible d'environ 10 p. 100, ce n'est pas à la conduite du feu qu'elle peut être attribuée, mais uniquement à la diminution de température des gaz, due à des surfaces de chauffe plus largement calculées.

En effet, si nous considérons le rapport entre la surface de chauffe totale et la surface de grille, nous voyons que, de 28,9 dans la catégorie A, il passe à 46,3 dans la catégorie B,

pour atteindre la valeur de 74,3 dans les installations de la catégorie C, qui ont donné le meilleur rendement.

Cette augmentation de surface de chauffe, par rapport à la surface de grille, a été obtenue en grande partie par les réchauffeurs. En effet, 2 installations sur 10 dans la catégorie A, 10 sur 23 dans la catégorie B, et toutes dans la catégorie C, sont munies de réchauffeurs.

Essais de chaudières chauffées a la main.

DÉSIGNATION	MOYENNE générale.	A RENDEMENT infér. à 60 p. 100.	B RENDEMENT de 60-70 p. 100	C RENDEMENT supér. à 70 p. 100.
1° Nombre d'installations	50	10	23	17
2° — de réchauffeurs.	29	2	10	17
3° Rapport moyen de la surface de chauffe totale à la surface de grille.	39,6	28,9	46,3	74,3
4° Pouvoir calorifique utile du combustible (moyenne) cal	6.942	6.593	6.934	7.160
5° Houille brûlée en moyenne par m² de grille, kg.	74,1	77,2	73,4	73,4
6° Houille brûlée en moyenne par m² de surface de chauffe totale.	1,57	2,25	1,66	1,03
7° Calories correspondantes	10.700	14.680	11.460	7.336
8° Teneur moyenne en gaz carbonique à la sortie des chaudières, p. 100	8,7	9,06	8,27	9,04
9° Rendement moyen, p. 100.	65,7	54,5	64,5	73,8
Répartition des pertes.				
10° Chaleur sensible dans les gaz, p. 100 . . .	18,2	22,0	20,5	12,7
11° Combustion incomplète des gaz, p. 100 . .	6,0	11,0	5,5	4,9
12° Imbrûlés dans les déchets, p. 100	3,5	4,5	3,5	2,5
13° Rayonnement et refroidissement, p. 100. .	3,3	4,0	3,0	3,0
14° Refroidissement pendant la nuit, p. 100. .	3,3	4,0	3,0	3,0

Mais, mieux encore que par le rapport de la surface de chauffe à la surface de grille, cette différence ressort, si l'on considère le poids de combustible brûlé par mètre carré de surface de chauffe et les calories qui y correspondent. Alors que pour les installations à mauvais rendement, on a brûlé en moyenne 2,25 kg : m² de surface de chauffe, cette quantité tombe à 1,03 kg : m² pour les installations dont le rendement est supérieur à 70 p. 100.

Si l'on considère les chiffres extrêmes, la chose devient encore plus frappante : car, dans celle des installations où l'on a brûlé le plus, soit 4,16 kg de charbon par mètre carré de surface de chauffe, la perte par chaleur sensible est maxima (36 p. 100), et c'est l'installation dans laquelle on a brûlé le moins de charbon par mètre carré de surface de chauffe (0,56), qui accuse le meilleur rendement, avec une perte de 8,5 p. 100 seulement à la cheminée.

On peut donc considérer comme principal critérium de la valeur économique d'une installation la quantité de houille brûlée par mètre carré de surface de chauffe totale, ou mieux encore, les calories correspondantes. Plus cette charge spécifique des surfaces de chauffe sera faible, plus, en général, le rendement de l'installation sera élevé.

Cette conclusion pourrait paraître, à première vue, en opposition avec la tendance actuelle de pousser les allures de production des grandes chaudières. La contradiction n'est cependant qu'apparente, car, question de surenchère commerciale mise à part, les installations modernes, pour lesquelles on parle de productions de vapeur de 30, 40 et 50 kg : m² de surface de chauffe, sont en réalité pourvues, à côté de la chaudière pro-

prement dite, qui est seule considérée dans les chiffres précités, de larges surchauffeurs, réchauffeurs d'eau, et quelquefois réchauffeurs d'air, tous appareils qui, finalement ramènent la quantité de houille brûlée par mètre carré de surface de chauffe totale à un taux très modique.

Au point de vue de l'absorption de la chaleur, la surface de chauffe des surchauffeurs est moins efficace que celles des générateurs. C'est surtout en raison de la meilleure utilisation de la vapeur dans les machines (qu'il s'agisse de machines alternatives ou de turbines), que la surchauffe est intéressante. Les réchauffeurs, par contre, peuvent encore puiser de la chaleur dans les fumées déjà refroidies au-dessous de la température de la vapeur. Dans celles des installations ci-dessus qui étaient munies de réchauffeurs, l'augmentation moyenne du rendement due à ces appareils a été de 7,8 p. 100, soit une économie de combustible de $\frac{7,8}{0,61} = 12,8$ p. 100 (0,61 étant le rendement sans réchauffeurs). Sauf des cas exceptionnels ou de toutes petites chaudières, l'adjonction d'un réchauffeur est donc presque toujours recommandable et rémunératrice.

Le réchauffeur n'est toutefois pas le seul moyen de réduire la charge des chaudières et d'en augmenter le rendement. On rencontre en effet, dans bien des cas, surtout dans les industries qui ne marchent pas au plein, des générateurs surchargés à côté d'autres qu'on laisse en chômage, uniquement pour diminuer le nombre de feux à desservir ou parce que l'on suppose, à tort, qu'il vaut mieux avoir une chaudière marchant à bonne allure que deux faiblement chargées. Notre collègue, M. Compère, a cité récemment à ce sujet un cas extrêmement typique. Dans un grand immeuble, dont l'installation de chauffage comporte plusieurs chaudières, deux seulement étaient en marche pour assurer le service. Des essais comparatifs montrèrent que la vaporisation par kilogramme de combustible passait de 5,16 à 5,88 et 6,25 kg, suivant que l'on travaillait avec deux, trois ou quatre chaudières, réalisant ainsi, dans le dernier cas, une économie de charbon de 21 p. 100, par rapport à la marche habituelle. La charge de la surface de chauffe, qui était de 4,52 kg de charbon par mètre carré, s'était abaissée à 2,54 kg et la température des fumées était passée de 620° à 250°.

Ce qui fait hésiter beaucoup d'industriels à utiliser toute la surface de chauffe dont ils disposent, c'est la crainte d'une allure de combustion trop faible. Mais il est bien facile d'y remédier en réduisant la surface des grilles, dont les dimensions $\left(\frac{1}{30} \text{ à } \frac{1}{40}\right.$ de la surface de chauffe des chaudières) n'ont rien d'immuable et sont généralement choisies par les constructeurs en vue d'obtenir une forte production de vapeur, sans souci de l'économie. Cette dernière exigerait, lorsqu'il n'y a pas de réchauffeurs, des rapports sensiblement plus faibles, voisins de $\frac{1}{50}$ par exemple. D'une façon générale, la question de l'allure de combustion la plus convenable par mètre carré de grille doit être traitée indépendamment de celle de la charge des surfaces de chauffe. Il y a presque toujours intérêt à réduire cette dernière, lorsque c'est possible, jusqu'à 1,5 kg de charbon (environ 10 000 calories) et à proportionner les grilles en conséquence, pour que les feux ne flânent pas. D'ailleurs, la marche en surcharge n'est pas seulement nuisible au point de vue économique, mais elle aggrave aussi les défauts des générateurs et les dangers qui en résultent.

Foyers automatiques. — L'examen du phénomène de la combustion dans un foyer à chargement à la main nous a montré les difficultés que rencontre l'obtention d'une combustion satisfaisante. Ces difficultés se sont accrues lorsque, pour les centrales électriques d'abord, pour les établissements divers de l'industrie ensuite, on a établi des chaudières de plus en plus grandes. D'autre part, la recherche de la combustion rationnelle par le chargement mécanique était d'autant plus séduisante que l'on réduisait du même coup la main-d'œuvre.

Sans vouloir entrer dans le détail de la construction des foyers mécaniques, rappelons qu'on peut les ramener presque tous à quatre genres :

1° Les foyers à pelletage ou à projection ;

2° Les grilles à barreaux mobiles plus ou moins inclinés, faisant avancer le combustible par l'effet de leur mouvement;

3° Les grilles à chaînes sans fin;

4° Les foyers à alimentation par le dessous (par poussoir ou vis).

Dans les premiers, le mécanisme remplace tout simplement le chargement intermittent par une projection presque continue. Les systèmes de ce genre ne conviennent qu'aux foyers de dimensions restreintes, particulièrement aux foyers intérieurs, et exigent un combustible très exactement calibré.

Les grilles du deuxième et du troisième genre amènent le combustible progressivement dans la zone de combustion. Une voûte surplombant la partie antérieure de la grille produit, par sa réverbération, la distillation et l'allumage. On conçoit que la teneur en matières volatiles de la houille joue un rôle important dans la disposition de cette voûte; un calibrage assez régulier est nécessaire pour assurer la combustion uniforme de la couche. L'épaisseur et la perméabilité de celle-ci se modifiant dans le sens du mouvement, un réglage de l'air par régions transversales est presque indispensable pour éviter l'excès d'air. La tendance actuelle est de souffler ces grilles par compartiments pour faciliter le réglage de l'air et lui donner plus de souplesse.

Enfin, dans le quatrième genre de foyers, le combustible frais est amené en dessous de la couche incandescente, que les produits de la distillation sont par suite obligés de traverser. En raison de la grande épaisseur de la couche, ces foyers sont presque toujours soufflés; ils sont moins difficiles que les précédents en ce qui concerne le calibrage.

Ce sont les foyers des deux derniers genres (3° et 4°) qui sont les plus employés et jouissent de la meilleure réputation.

L'étude et le classement de nombreux essais sur des installations munies de divers foyers automatiques et leur comparaison avec ceux à chargement à la main, nous ont permis de tirer les conclusions suivantes :

1° Les foyers automatiques procurent, en général, une augmentation de rendement, provenant principalement de la diminution ou même de la suppression presque totale de la perte par combustion incomplète ;

2° Le rendement diminue, comme pour le chauffage à la main, lorsque la charge spécifique par mètre carré de surface de chauffe augmente; toutefois, on peut, à rendement égal, charger davantage une chaudière à foyer mécanique ;

3° En raison de la continuité de la combustion, on peut réduire l'excès d'air dans une plus forte mesure qu'avec le chauffage à la main, sans risquer la combustion incomplète, et, de ce chef, bénéficier des avantages que procurent la plus haute température au point de vue de la transmission de chaleur et le moindre volume des gaz au point de vue de la perte par chaleur sensible.

Cette réduction de l'excès d'air n'est toutefois généralement obtenue que lorsque la charge des grilles est favorable, le combustible bien approprié et la conduite très attentive.

Quand ces conditions sont réalisées, on constate dans des installations modernes bien étudiées, en marche courante, des rendements atteignant et dépassant même 80 p. 100.

Combustibles inférieurs. — Jusqu'ici nous avons considéré surtout l'emploi des charbons tels qu'ils sortent de la mine ou améliorés par le classement. Nous avons montré à plusieurs reprises l'intérêt que présente cette préparation. Mais il est bien évident que tout triage, criblage, dépoussiérage ou lavage a comme corollaire la production simultanée de déchets sous forme de produits inférieurs, menus, poussiers, boues de lavage, mourres, etc., et ce, en quantités d'autant plus abondantes que la préparation s'applique à une plus grande partie de la production houillère et que les couches exploitées sont

moins pures ou moins épurées lors de l'extraction. Étant donnée l'insuffisance de nos ressources nationales en combustibles, il est indispensable que ces déchets soient utilisés au mieux, non seulement par les mines elles-mêmes, mais aussi par toutes les industries qui peuvent s'en accommoder et les recevoir sans transports trop onéreux.

Il en est de même des combustibles pauvres, tels que houilles barrées, lignites, tourbes, anthracites graphitoïdes, ainsi que des déchets de fabrication : tannée, sciures, etc.

L'emploi rationnel des combustibles inférieurs comporte généralement un aménagement spécial des foyers et des grilles.

Les caractéristiques d'une catégorie importante de combustibles inférieurs sont la finesse du grain, la haute teneur en cendres et, pour ceux provenant de lavages, la forte proportion d'eau. Ces propriétés nécessitent des grilles à intervalles moindres pour éviter les chutes dans le cendrier, augmentent la résistance au passage de l'air à travers la couche et ralentissent la combustion, d'où diminution considérable de la production de vapeur. On peut quelquefois, quand il s'agit de fines grasses ou flambantes, se contenter d'augmenter la surface de grille et le tirage. Mais la plupart du temps, cela ne suffit pas et il faut, surtout avec des produits demi-gras ou maigres, avoir recours au soufflage sous la grille. Ce procédé procure une grande élasticité tant pour pousser l'allure de combustion que pour brûler des variétés très diverses de combustibles.

Le soufflage sous grille par tuyères à vapeur est relativement facile à installer et peu coûteux; mais il n'est guère économique, car sa consommation propre se tient entre 4 et 12 p. 100 de la vapeur produite, un peu moins en employant de la vapeur surchauffée.

Le soufflage par ventilateur, que l'on peut compléter dans certains cas par une injection de vapeur ou d'eau pour faciliter le décollement des mâchefers, est d'une installation plus compliquée; mais il est sensiblement plus économique, car il ne dépense qu'environ 1 1/2 p. 100 de l'énergie calorifique produite.

Il peut être avantageux parfois de faire des mélanges de combustibles inférieurs, de propriétés différentes, pour obtenir un produit moyen plus facile à brûler; mais, en général, on n'a aucun intérêt à améliorer un charbon très inférieur par l'adjonction d'un peu de bon ou à allonger le bon en y mélangeant un peu de mauvais.

Beaucoup de foyers automatiques peuvent également être aménagés pour brûler des combustibles inférieurs et sont alors presque toujours soufflés.

L'emploi de l'air chaud pour le soufflage permet d'élever la température du foyer et d'améliorer tant la combustion que la transmission de chaleur.

Quel que soit toutefois le procédé employé, il faut s'attendre à une baisse plus ou moins forte de production et de rendement comparativement au combustible normal. Toutes les pertes ont tendance à augmenter plus rapidement que la proportion de cendres et d'humidité contenues dans le combustible.

Il est cependant un procédé qui paraît susceptible d'assurer, au moins théoriquement, une combustion complète et à haute température de certains combustibles inférieurs. C'est la pulvérisation, qui pourrait s'appliquer à tous les poussiers secs, si les essais en cours confirment les prévisions.

Pertes accessoires. — Outre les pertes que nous avons étudiées jusqu'ici et qui agissent directement sur le rendement, tel qu'on le mesure lors d'un essai, il en existe d'autres qui n'apparaissent pas d'une façon explicite dans le rendement, mais n'en constituent pas moins un gaspillage qu'il faut chercher à éviter.

Ce sont d'abord les fuites et pertes d'eau chaude ou de vapeur par défaut d'étanchéité des chaudières, réchauffeurs, canalisations et appareils de toute sorte. Ces fuites sont généralement visibles et c'est l'affaire du chauffeur et du service d'entretien de les supprimer dès leur apparition. Une bonne précaution, c'est de laisser visibles ou au moins facilement accessibles tous les écoulements des purges diverses, conduites de vidange des chaudières, réchauffeurs, etc., pour pouvoir les observer d'une façon suivie.

Il y a ensuite les fuites de vapeur par les soupapes de sûreté. Les causes en peuvent être multiples : soupapes mal rodées, conduite irrégulière des feux, variations brusques de la charge. On peut souvent remédier aux conséquences de cette dernière cause en avertissant le chauffeur des variations notables de charge avant qu'elles se produisent. Un manomètre enregistreur placé dans la chaufferie rend aussi à cet égard de bons services. Des pertes par les soupapes peuvent également se produire pendant la nuit dans les chaudières dont les maçonneries emmagasinent beaucoup de chaleur qui n'a pas été suffisamment épuisée avant l'arrêt.

Les extractions d'eau, nécessaires pour empêcher la concentration des sels et l'accumulation des boues dans les chaudières, occasionnent une perte de chaleur, qui, ordinairement, est inférieure à 1/2 p. 100; mais, dans des cas défavorables, la perte peut être un multiple de ce chiffre. Il ne faut donc pas faire des extractions au delà de la quantité nécessaire et cela spécialement lorsqu'on emploie des épurateurs à purge continue.

Il y a ensuite les services accessoires des générateurs, tels que l'alimentation, le soufflage des grilles, le tirage mécanique, la commande des grilles automatiques, des râcloirs des réchauffeurs, etc., qui prennent dans les chaufferies modernes une importance de plus en plus grande.

L'alimentation, qui est indispensable à tous les générateurs, mérite une mention spéciale. Les appareils qui l'assurent sont très divers et de valeur économique inégale. La puissance théorique nécessaire à l'alimentation, surtout comptée en calories, est extrêmement faible et de l'ordre de quelques millièmes de la chaleur produite. Malgré cela, certains appareils d'alimentation, comme la pompe à vapeur échappant à l'air libre, consomment 4 ou 5 et même 10 p. 100 de la vapeur produite. Pour les chaudières qui ne possèdent pas de réchauffeurs et pour l'alimentation desquelles on ne dispose pas d'eau chaude, l'injecteur à vapeur est l'appareil le plus économique, puisque la chaleur non transformée en travail est intégralement récupérée et fait retour à la chaudière. Les pompes à piston ou centrifuges actionnées mécaniquement ou électriquement sont économiques dans la mesure où les machines motrices qui les actionnent le sont elles-mêmes. Les pompes à vapeur sans volant le sont généralement très peu. Bien qu'étant d'un emploi très commode, par suite de la facile adaptation de leur débit aux besoins, ces pompes ne devraient, en général, être considérées que comme appareils de secours et ne pas marcher d'une façon continue, si elles échappent à l'air libre. Leur marche est plus économique lorsqu'on recueille la vapeur de décharge pour réchauffer l'eau d'alimentation; mais cette récupération n'est réellement utile que s'il n'y a pas d'autres moyens d'avoir de l'eau chaude. Chaque fois que, soit par l'emploi d'un condenseur de machine à vapeur, soit par la récupération des eaux de retour, des purges, ou au moyen d'un réchauffeur placé derrière les chaudières, on peut trouver suffisamment de chaleur à basse température pour réchauffer l'eau d'alimentation, les pompes sur machines, sur transmissions ou électriques, sont plus économiques que les pompes à vapeur, même avec récupération.

Les mêmes conclusions s'appliquent aux autres petits moteurs auxiliaires à vapeur que l'on trouve souvent dans les chaufferies par exemple à ceux qui actionnent des chargeurs mécaniques ou des racloirs.

Nous avons déjà mentionné, à propos des combustibles inférieurs, que le soufflage à vapeur est plus dispendieux comme consommation que le soufflage par le ventilateur. Pour le tirage, l'action d'une cheminée (tirage naturel) est plus économique que l'emploi d'un appareil mécanique. Dans beaucoup de cas, un calcul simple montre que la dépense nécessaire à la construction d'une cheminée ou à sa modification en vue du tirage serait vite rattrapée par l'économie de la puissance nécessaire au tirage artificiel. Même quand ce dernier est installé, il ne faut s'en servir que dans les circonstances où le tirage naturel ne suffit pas.

Mentionnons enfin qu'au point de vue de la transmission de la chaleur aux surfaces de chauffe et de l'épuisement de la chaleur sensible des gaz de la combustion, il y aurait

avantage, en principe, à ce que la pression, c'est-à-dire la température du contenu des chaudières, fût peu élevée. Toutefois, cette considération ne doit que rarement entrer en ligne de compte, car pour l'utilisation de la vapeur dans les machines, il est au contraire du plus grand intérêt que sa pression et sa température soient portées aux plus hautes valeurs compatibles avec la sécurité d'emploi des appareils.

Conclusions. — En résumé, on peut admettre que les installations de production de vapeur qui nous occupent ont un rendement moyen voisin de 65 p. 100, qui pourrait être amélioré jusqu'à environ 75 p. 100, et même davantage, en appliquant tous les perfectionnements connus. Il y aurait donc une économie de $\frac{10}{0,65}$, c'est-à-dire de l'ordre de 15 p. 100 à réaliser en moyenne.

On ne peut, pour l'obtenir, ni préconiser une mesure générale, ni indiquer un seul remède, ni appliquer une seule formule. Elle ne résultera que du concours de plusieurs facteurs, dont les principaux sont :

1° Amélioration des installations;

2° Amélioration du combustible;

3° Meilleure conduite du feu;

4° Entretien plus soigné.

Le premier facteur est, comme nous l'avons vu, souvent le plus important, mais, malheureusement, les modifications des installations défectueuses et insuffisantes demandent du temps et de l'argent. Ce n'est pas une raison pour y renoncer car, entreprises avec méthode et discernement, elles donnent des résultats permanents et indépendants du facteur humain.

Le combustible a sur le rendement une répercussion plus grande qu'on ne le pense généralement. Sa qualité et sa régularité laissent actuellement encore beaucoup à désirer, mais on peut espérer que, la crise de quantité surmontée, elles s'amélioreront, surtout si les consommateurs attachent à cette question l'intérêt qu'elle mérite.

L'expérience du chauffeur et son zèle ont une influence incontestable sur la bonne utilisation du combustible, influence d'autant plus sensible que l'installation est elle-même moins parfaite et moins bien entretenue. Il est bon de l'instruire et de l'intéresser à sa tâche, mais il serait imprudent de compter trop sur l'effet permanent de son instruction, si sa bonne volonté ne se soutenait pas.

Le réglage et le bon entretien de toutes les parties d'une installation, les nettoyages fréquents n'ont pas une moindre importance, et c'est à la direction de l'établissement qu'en incombe le souci.

Ces deux derniers facteurs, essentiellement humains, conduite et entretien, ne seront réellement efficaces que si le propriétaire ou l'ingénieur s'intéresse personnellement à la chaufferie, en connaît les points faibles, en suit le fonctionnement.

Pour bien connaître une installation, le meilleur moyen est d'en faire l'essai complet en marche habituelle, avec détermination des pertes et du bilan de chaleur; ensuite seulement les modifications à apporter dans l'état ou la conduite pourront être indiquées. Mais pour que l'effet de ces dernières soit durable, il faut en surveiller l'exécution, non seulement une fois par hasard, mais d'une façon suivie, en s'aidant de relevés, de statistiques, de mesures plus ou moins complètes, suivant l'importance de l'installation. Ce sera la façon la plus sûre de tirer le meilleur parti de ce qui existe et de rendre fructueuses les dépenses qu'il aura fallu engager pour modifier les installations défectueuses.

V. KAMMERER.

Vu :

Le président de la 1re sous-commission,

LOIRET.

COMPTES RENDUS

DES SÉANCES DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT

CONSEIL D'ADMINISTRATION

SÉANCE PUBLIQUE

DU 12 FÉVRIER 1921

Présidence de M. Baclé, *président*.

La séance est ouverte à 17 h.

Sont présentés pour devenir membres de la Société et admis séance tenante :

M. Madeline (Jules, Auguste), (O. ✱), administrateur de Sociétés commerciales, 35, rue du Faubourg-Poissonnière, Paris (9e), présenté par le général baron Empain et M. Lemaire ;

M. Fieux (Jules), industriel, 138, rue du 11-Novembre, Saint-Étienne (Loire), présenté par M. Lemaire ;

L'Union chrétienne de jeunes Gens de Paris, 14, rue de Trévise, Paris (9e), présentée par M. Pereire.

M. le Président annonce que :

Mlle Yvonne Chrétien, 83, boulevard Saint-Marcel, Paris, a déposé, le 31 janvier 1921, un pli cacheté relatif à *l'agglomération sans agglomérant de matières diverses* et à *une machine produisant des briquettes de sciure de bois à la scierie même*. Elle en a autorisé l'ouverture par la Société d'Encouragement le 1er janvier 1925 s'il n'a pas été retiré avant cette date.

M. Baclé, *président*. — J'ai le regret de vous annoncer la douloureuse perte que notre Société vient de faire en la personne de notre collègue du Conseil, M. **Henri Belin**, membre du Comité des Constructions et Beaux-Arts, décédé à l'âge de soixante et onze ans. M. Henri Belin, fils d'Eugène Belin, associé de ses frères, en se consacrant à l'édition exclusive des livres,

a continué la tradition paternelle et maintenu la librairie de la rue de Vaugirard et l'imprimerie de Saint-Cloud prospères et estimées de tous.

M. Henri Belin a été président du Cercle de la Librairie, président de la Librairie à l'Exposition universelle de 1900, membre de la Chambre de Commerce de Paris. Il était officier de la Légion d'honneur. La maladie l'a tenu éloigné de nous pendant ces dernières années. Il restait néanmoins un collaborateur actif et dévoué, toujours prêt à nous aider de ses conseils et de sa grande expérience. Nous adressons à sa veuve, à son fils M. Jean-Paul Belin, secrétaire général de la « Maison du Livre » ainsi qu'à M. et Mme Lindet, les sentiments sympathiques de la Société.

M. L. Lindet présente un rapport, au nom du Comité d'Agriculture, sur une *machine continue à mouler et à démouler le chocolat*, présentée par M. E. Savy et construite par MM. A. Savy, Jeanjean et Cie.

Ce rapport est approuvé (1).

M. Baclé, *président*. — Le Comité du Retour aux Études techniques qui s'est fondé, sous le patronage de notre Société, de concert avec le général Duval, alors directeur de l'Aéronautique militaire, et avec l'aide de nombreux industriels, poursuit sa tâche qui approche de son achèvement.

Il s'agissait, vous vous le rappelez, de venir en aide aux jeunes gens dont la guerre avait interrompu les études techniques. Faute de ressources suffisantes, ils se voyaient obligés de sacrifier leurs études antérieures. Le Comité les a placés dans l'industrie. Ils ont continué à travailler avec l'aide des livres; ils doivent passer un examen à deux degrés et recevront, s'ils l'ont mérité, le brevet d'ingénieur institué pour eux par notre Société.

Ce sont les épreuves du 1er degré de cet examen que les stagiaires du Comité viennent de subir devant un jury composé de :

MM. Henry Le Chatelier, *président*, membre de l'Institut, notre collègue du Conseil;

Le lieutenant-colonel Espitallier, professeur à l'École des Travaux Publics, notre collègue du Conseil;

Le commandant Nicolardot, examinateur à l'École Polytechnique;

Dufour, chef des Travaux pratiques du Cours de Machines au Conservatoire des Arts et Métiers;

Garsonnin, répétiteur à l'École centrale des Arts et Manufactures.

Trente et un candidats se sont présentés, et vingt-huit d'entre eux ont été reçus et admis aux épreuves du second degré.

(1) Voir dans le *Bulletin* de février 1921, p. 169, le texte *in extenso* de ce rapport.

Les examens ont été satisfaisants dans l'ensemble et les premiers de la liste, dont les moyennes vont de 18 à 19,4, apparaissent déjà comme des élèves-ingénieurs d'une véritable valeur (1).

La Société peut se féliciter d'avoir pris sous son patronage cette œuvre éminemment utile.

Notre éminent collègue M. H. Le Chatelier en a été l'initiateur; il en a assuré le succès avec la collaboration bienveillante et l'appui de M. Lindet, alors président de notre Société.

Nous pouvons dire que, en encourageant et en aidant ces jeunes gens laborieux qui se sont imposé un travail supplémentaire très méritoire, et, en les remettant sur la bonne voie, la Société a rempli une fois de plus son programme et justifié son titre.

Je dois ajouter toutefois que le Comité avait placé plus d'un millier de stagiaires, et, tout en tenant compte de ceux qui, placés à la Compagnie d'Orléans, suivent un enseignement méthodique et subiront les épreuves du 2e degré de l'examen du Comité, nous avons été surpris de voir qu'un si petit nombre de candidats se soient présentés. D'une enquête faite à ce sujet, il résulte qu'un très grand nombre de jeunes gens ont, par leurs efforts, conquis dans les maisons ou sociétés qui les emploient, des situations importantes et fort enviables qui, tout en satisfaisant leur louable ambition, leur prennent cependant tout leur temps. Le but visé a donc été atteint pour ceux-ci comme pour les autres. S'ils n'ont pas passé l'examen et ne briguent plus un diplôme, estimant, à tort ou à raison, qu'ils n'en ont pas besoin, ils n'en témoignent pas moins leur reconnaissance envers le Comité et la Société d'Encouragement pour les avoir aidés dans les difficultés du retour à la vie civile.

Comme suite à cet exposé, je crois devoir vous donner lecture d'une lettre que notre Société a reçue récemment, du général Dumesnil, successeur du général Duval, à la Direction de l'Aéronautique, arme qui a fourni une grande partie de nos stagiaires et des collaborateurs du Comité.

Monsieur,

Le lieutenant Lacour (2) m'a mis au courant des résultats auxquels a donné lieu l'examen que le Comité du Retour aux Études techniques vient de faire passer aux militaires de l'Aviation démobilisés qui avaient été placés comme stagiaires dans certaines entreprises, grâce à l'aide donnée par la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale.

(1) Voir dans le présent numéro, p. 274, le compte rendu détaillé de cet examen.

(2) Le lieutenant Lacour continue à assurer la liaison entre la Direction de l'Aéronautique et le Comité du Retour aux Études techniques dont la continuité de fonctionnement est assurée par M. Lefrançois, Ingénieur des Arts et Manufactures.

Quarante et un stagiaires ont passé avec succès la première partie de cet examen et disposent ainsi d'un brevet d'ingénieur qui leur sera d'une grande utilité.

Comme mon prédécesseur, le général Duval, je tiens à vous dire à cette occasion, combien j'apprécie hautement l'aide si fructueuse que vous avez donnée aux militaires de l'Aéronautique démobilisés et à vous adresser mes plus vifs remerciements.

Recevez Monsieur, l'assurance de ma considération la plus distinguée.

Le Général directeur de l'Aéronautique.

Signé : H. DUMESNIL.

M. BOYER-GUILLON, Ingénieur civil des Mines, fait une communication sur *les accéléromètres* système *Boyer-Guillon et Auclair.*

Les appareils présentés ont été construits au Laboratoire d'Essais du Conservatoire des Arts et Métiers et au laboratoire de M. Koenigs.

Ces accéléromètres, de formes et de propriétés diverses, sont des applications d'un type nouveau de pendule d'inertie créé par MM. Auclair et Boyer-Guillon.

La masse d'inertie au lieu d'osciller librement sous l'action combinée de ressorts et des forces d'inertie est, sauf à l'instant précis de la mesure, immobilisée avec le jeu minimum réalisable entre deux buttées réglables.

Un ressort de tension réglable,

1° équilibre l'action sur la masse de la pesanteur ou des forces extérieures;

2° détermine un appui d'intensité connue sur l'une des buttées. Le changement de portage a lieu pour une valeur déterminée de la force d'inertie. Il est enregistré électriquement par signal téléphonique, relais ou signal Deprez.

Ces appareils sont donc propres tant à la mesure de la composante de l'accélération d'un point suivant une droite qu'à celle de l'accélération angulaire d'un solide.

Si on les règle de manière à paralyser le signal, à la *limite*, ils fonctionnent comme appareils à maxima. Lorsque la tension du ressort varie systématiquement et par accroissement égaux et que l'on enregistre simultanément le temps et le fonctionnement du signal, on obtient un enregistrement discontinu de l'accélération d'un mouvement périodique. Qu'au contraire les appareils soient associés à un sélecteur, qui ne permet le fonctionnement du signal qu'à un stade déterminé du phénomène étudié, ils peuvent mesurer la valeur de l'accélération correspondant à ce stade, par exemple l'accélération d'un volant à un instant déterminé du cycle du moteur.

On peut avoir enfin de véritables enregistreurs en employant plusieurs masses de même centre de gravité portées chacune par trois ressorts en triangle ou encore en employant un ressort convenable dont la tension, enregistrée d'une manière continue, est commandée par un relais électrique de manière à maintenir la masse d'inertie en état d'oscillation de *portage* entre les buttées. L'enregistrement de l'accélération encore discontinu dans le premier cas est dans cette dernière technique continu.

Le champ de mesure de ces appareils est illimité. Sous réserve de précautions convenables, il ne dépend que de la flexibilité des ressorts de mesure. Les premiers appareils construits ont été exécutés en vue de la mesure des accélérations sur les véhicules de toute nature; on a pu mesurer ainsi des accélérations allant de quelques décimètres à 90 m par seconde. Mais ce type d'appareil peut être adapté à la

mesure d'accélérations faibles : peu avant la guerre, l'Automobile-Club de France et la Société des Architectes l'avaient *adopté pour les études sur les vibrations des édifices* que ces deux associations se proposaient d'entreprendre en collaboration.

A. BOYER-GUILLON.

M. BACLÉ, *président*, remercie M. Boyer-Guillon de son intéressante communication. Il le prie d'en remettre le texte à la Société, en vue d'examen par un de ses comités techniques et, le cas échéant, de l'insertion d'une note ou d'un rapport dans notre *Bulletin*.

M. FOURNIER (Louis) fait une communication sur la *calculatrice Fournier-Mang*.

Cette machine ne diffère pas essentiellement de celle qui a figuré à l'Exposition de machine à calculer de la Société d'Encouragement (1). Elle présente cependant sur ce prototype des avantages pratiques et des perfectionnnements dignes d'attirer l'attention. De plus, la machine est entrée aujourd'hui dans la période de fabrication vraiment industrielle.

La machine Fournier-Mang est une calculatrice proprement dite, c'est-à-dire une machine effectuant automatiquement les multiplications et les divisions. Cette machine est de pure conception française : les inventeurs n'ont guère conservé de l'arithmomètre Thomas de Colmar que son tambour. Cette machine est du type à chariot, comme l'arithmomètre.

Les inventeurs se sont efforcés de réunir dans leur machine des avantages qui ne se rencontrent pas sur les machines étrangères ou qui ne s'y rencontrent qu'isolément. Ces avantages leur ont paru indispensables pour vulgariser l'emploi des machines à calculer en France et notamment pour pouvoir les mettre entre les mains de novices.

Un premier avantage est l'impossibilité absolue de dérégler ou de détériorer la machine quelles que soient la maladresse ou les fausses manœuvres de l'opérateur. La machine est ce que les Anglais appellent *foolproof*. Sa manœuvre est d'ailleurs extrêmement facile : l'initiation ne dure que quelques minutes.

Les autres avantages nouveaux sont :

La multiplication d'un nombre quelconque par un chiffre quelconque au moyen d'un seul tour de manivelle;

L'automaticité complète de la division : le nombre de tours à effectuer est égal au nombre des chiffres du diviseur. (La résistance qu'on rencontre à faire tourner plus de trois tambours par tour de manivelle et qui a arrêté de nombreux inventeurs, a été vaincue grâce à une remarque judicieuse : la moyenne des chiffres traités est 4,5; cette moyenne est généralement atteinte au bout de quelques centaines de chiffres. En utilisant la tension préalable d'un ressort, on emmagasine de l'énergie en actionnant la manivelle pour tout chiffre supérieur à 4,5 ; on est aidé, au contraire, par récupération de cette énergie, pour tout chiffre inférieur à 4,5. En utilisant des roulements à billes, partout ou cela a été possible, on a

(1) Voir le *Bulletin* de septembre-octobre 1920 entièrement consacré à cette manifestation.

réussi ainsi à faire tourner le tambour de Thomas à une vitesse telle que les chiffres se succèdent aux lucarnes du chariot à raison de 5 800 par minute);

La sélection du chiffre du multiplicateur, l'exécution de la multiplicatiou par ce chiffre et l'avancement du chariot s'exécutent par la seule manœuvre de la manivelle, sans discontinuité entre ces trois opérations;

Le clavier à touches de chiffres en gradins, entraînant celles des chiffres plus faibles, effectuant et vérifiant la pose, seule cause d'erreur d'addition possible dans les machines;

Le placement automatique de la virgule du résultat.

M. Fournier rend hommage au savoir et à la bonne volonté des nombreux collaborateurs français dont il a eu besoin pour construire une machine qui comprend 534 pièces de natures différentes dont certaines se répètent, soit un total de 2 159 pièces. Toutes sont interchangeables et construites en série, ce qui a nécessité la construction d'un millier de machines-outils ou d'outils nouveaux. Ce travail de mise au point de la calculatrice et de cet outillage a duré deux ans.

La calculatrice Fournier-Mang est portative; elle pèse 12 kg; elle mesure 0,50 m de longueur et 0,20 m environ en largeur et en hauteur.

E. L.

M. Baclé, *président*, félicite M. Fournier et M. Mang son collaborateur, de leur persévérance et de leur succès. Il est heureux d'apprendre qu'ils ont rencontré chez les industriels et techniciens français tous les concours dont ils avaient besoin. S'ils ont réussi c'est, comme l'a dit M. Fournier, qu'ils avaient la foi et qu'ils ont su la communiquer à leurs collaborateurs.

Malgré les conditions défavorables du moment, ils ont su créer une machine à calculer bien française. Nous leur en sommes très reconnaissants.

Permettez-moi de vous signaler que notre manifestation de juin dernier a porté ses fruits. On nous annonce, en effet, qu'un concours de machines à calculer doit avoir lieu très prochainement à Paris. Le programme de ce concours est à l'étude. Dès que nous aurons des renseignements précis et définitifs à ce sujet, nous ne manquerons pas d'en informer nos membres, qui tous, se sont vivement intéressés à notre exposition de machines à calculer de l'année dernière.

La séance est levée à 18 h. 45 m.

SÉANCE PUBLIQUE

DU 26 FÉVRIER 1920

Présidence de M. L. Bacle, *président*

La séance est ouverte à 17 h.

Sont présentés pour devenir membres de la Société et admis séance tenante :

M. Girard (Maurice, Alfred), industriel, directeur du Garage de la Côte d'Argent, 60, rue de Pessac, Bordeaux (Gironde), présenté par MM. Lindet et Lemaire;

M. Génot (André) (✻,✠), ingénieur-chimiste, directeur de l'usine Matières plastiques et Vernis, 38 *bis*, rue des Messiers, Montreuil (Seine), tél. 177, présenté par MM. Leroy et Delaporte;

M. Haguenauer (Isidore), licencié ès sciences physiques et mathématiques, ingénieur-électricien, ingénieur adjoint à la Compagnie des Chemins de fer de l'Est, 6, square Pétrelle, Paris (9e), présenté par MM. Fayolle, Languepin et Lemaire;

M. Chopin (Marcel), ingénieur-conseil de la Société d'Entreprise meunière, 31, rue du Bastion, Nancy (Meurthe-et-Moselle), présenté par MM. Lindet et Schloesing;

M. Moulin (Marcel), modeleur-mécanicien, 7, passage de l'Église, Vanves (Seine), présenté par MM. Pierre Lambert et Lemaire.

M. le Président annonce que :

M. Georges Vallée, 5, rue Saint-Ambroise, Paris (11e), a déposé, le 17 février 1921, un pli cacheté renfermant la *description d'un dispositif pour augmenter, sans changement du matériel, ni de la construction, le nombre des voyageurs dans chaque rame du Métropolitain*;

M. Blard, 51, avenue de Suffren, Paris (7e), a déposé, le 21 février 1921, un pli cacheté renfermant des *notes sur les hélicoptères*;

M. Blard, 51, avenue de Suffren, Paris (7e), a déposé, le 24 février 1921, un pli cacheté renfermant le *dessin d'ensemble d'un hélicoptère.*

M. Vallée et M. Blard ont autorisé la Société d'Encouragement à prendre connaissance de ces plis cachetés, et à en faire tel usage qu'elle jugera convenable, s'ils n'en ont pas demandé l'ouverture ou effectué le retrait, respectivement, le 17 février 1925, les 21 et 26 février 1926.

M. LE PRÉSIDENT a la satisfaction d'annoncer que M. L. LINDET, notre ancien président, membre de Comité d'Agriculture, a été fait récemment commandeur de la Légion d'honneur, et que M. RATEAU, membre du Comité des Arts mécaniques, a été nommé officier de la Légion d'honneur.

Il les félicite en son nom propre et au nom de la Société d'Encouragement tout entière de la distinction dont ils viennent d'être l'objet. Il rappelle leurs travaux et la notoriété qu'ils se sont acquise parmi les techniciens du monde entier, et il est heureux de penser que l'honneur qui leur est fait rejaillit sur notre Société tout entière qui est fière de les compter dans son Conseil d'Administration.

M. LOUIS SALOMON présente un rapport au nom du Comité des Arts mécaniques, sur une *serrure, avec un loqueteau intérieur, pour les portes latérales des voitures de chemins de fer,* imaginée par M. F. BIRLÉ, Ingénieur des Arts et Manufactures.

Ce rapport est approuvé (1).

Le lieutenant-colonel Paul RENARD, membre du Comité des Arts économiques, fait une communication sur la *standardisation des cordages.*

La standardisation des cordages a été conçue et réalisée, de 1875 à 1879, par Charles Renard, l'inventeur des premiers ballons dirigeables, alors capitaine, à l'Établissement de Chalais. Il s'agissait, à ce moment, de satisfaire les besoins de la construction aéronautique militaire, dans l'espèce, celle des ballons sphériques, libres ou captifs, les seuls en question à l'époque.

Le classement basé sur la grandeur du diamètre ou de la circonférence des cordages a dû être rejeté parce que leur mesure ne peut se faire exactement ni simplement et ne répond pas d'ailleurs aux besoins de la pratique. Le poids des organes étant une considération de première importance en aéronautique puisque la force ascensionnelle en dépend, le classement a été basé sur le poids des cordages par mètre de longueur. Ce poids unitaire, pour une même matière première employée, est d'ailleurs assez exactement proportionnel à la résistance du cordage à la traction, propriété recherchée dans l'emploi, et au prix. Dans les conditions normales de conservation et d'emploi, ce poids peut être considéré comme constant, et il est connu à quelques centièmes près, ce qui, pratiquement, est très suffisant. La longueur est mesurée par tension directe à la main, sans effort exagéré, comme on mesure les étoffes, et juste suffisant pour réaliser la ligne droite sur un mètre de longueur.

Le système de numérotage inverse, pour désigner les termes de la série à adopter, a été écarté. C'est celui qui a cours encore, pour le fil à coudre par exemple, qui porte un numéro d'autant plus élevé qu'il est plus fin. On a cru préférable d'employer un système où les numéros qui désignent les termes de la série sont

(1) Voir dans le *Bulletin* de février 1921, p. 172, le texte *in extenso* de ce rapport.

d'autant plus élevés que le cordage pèse plus par mètre courant et, par suite, est plus gros, plus résistant, plus cher.

Charles Renard a été un des premiers à reconnaître que la considération de la différence absolue entre les deux termes successifs d'une série à adopter est sans intérêt; cette différence doit être d'autant plus petite que le terme de la série est plus petit. Il est naturel, dans ces conditions, que les termes de la série forment une progression géométrique. La raison de cette progression a été prise égale à $\sqrt[5]{10}$ pour les motifs suivants.

Les cordages ont dû être classés, pour raisons de commodité, en : cordonnets, ficelles, cordeaux, cordes et câbles et, à longueur égale, 10 cordonnets pèsent autant qu'une ficelle de même numéro; de même 10 ficelles autant qu'un cordeau de même numéro, 10 cordeaux autant qu'une corde et 10 cordes autant qu'un câble. Si la ficelle n° 1 pèse 1 g par mètre; le cordeau n° 1 pèsera donc 10 g par mètre. Dans chaque groupe, on a cinq termes portant les numéros 1, 2, 3, 4, 5. Comme il n'est pas indispensable qu'un cordage soit exactement $\sqrt[5]{10}$ fois plus fort que celui qui le précède dans la série, on a pris, au lieu de $\sqrt[5]{10} = 1,58491...$, sa valeur approchée 1,6, qui est commensurable et on a forcé, en plus ou en moins, ce coefficient pour avoir des termes successifs qui soient des multiples assez simples les uns des autres; on obtient ainsi le tableau suivant :

Numéros.	1	2	3	4	5
			Grammes par mètre.		
Cordonnet.	0,1	0,16	0,25	0,40	0,64
Ficelle.	1	1,6	2,5	4	6,4
Cordeau.	10	16	25	40	64
Corde	100	160	250	400	640
Câble	1.000	1.600	2.500	4.000	6.400

Tout ce qui précède s'applique aux cordages de coton. Si on emploie le chanvre, dont la densité est 1,25 fois celle du coton, on a des séries analogues; par exemple :

Numéros.	1	2	3	4	5
			Grammes par mètre.		
Ficelle	1,25	2	3,2	5	8
Cordeau	12,5	20	32	50	80

Le diamètre des cordages résulte de leur numéro; on a pu, par suite, standardiser également tous les organes qui s'emploient avec les cordages : cosses simples ou doubles, gorges de poulies, cabillauds, etc., et leur donner le même numéro que le cordage qui leur convient et avec lequel ils s'emploient.

Ces types standardisés ont suffi jusqu'à présent pour la construction aéronautique militaire; il n'a fallu ajouter qu'un seul terme nouveau aux vingt-cinq termes existants. Et l'existence en magasins de tous ces termes fabriqués en série, avec la connaissance de leurs caractéristiques et propriétés, a facilité et hâté grandement, pendant la dernière guerre, la construction des nouveaux types de ballons captifs français, quand elle fut rendue nécessaire. Le fait a été reconnu par le général Hirschauer.

On peut remarquer que les termes de la série du chanvre peuvent s'intercaler

entre ceux de la série du coton, ce qui revient à dire qu'on prend pour raison 1,25 soit approximativement $\sqrt[10]{10}$ et qu'on double le nombre des termes.

La même règle de gradation peut s'appliquer, et l'a été réellement et avec succès, dans la construction mécanique en prenant pour raison soit $\sqrt[5]{10}$ soit $\sqrt[10]{10}$. Quant aux autres principes de standardisation, notamment celui du poids unitaire pris pour base, il paraît pouvoir s'appliquer dans tous les cas analogues à celui de produits fabriqués avec des matières premières organiques, non homogènes, comme les tissus, le cuir.

Le conférencier dit que des exemples nombreux de *préstandardisation*, analogues à celui des cordages, pourraient être cités, que ces standardisations ont été réalisées en France, dans notre industrie, bien longtemps avant que les mots de standardisation et de taylorisation fussent connus. Les manœuvres des armes techniques, par exemple les manœuvres de force des lourdes pièces d'artillerie de siège, la construction des ponts, sont des exemples remarquables de taylorisation et de standardisation parfaitement étudiée; ils fournissent la preuve incontestable que la méthode règne dans l'esprit français. Le système métrique est d'ailleurs un merveilleux exemple de standardisation. C'est ainsi que nos pontonniers ont pu jeter un pont, du premier coup, sans tâtonnements, en quelques heures, sur le Rhin, près de Mayence, en 1918. C'est là une manœuvre que les Allemands n'avaient jamais réussie auparavant, même en plusieurs jours.

E. L.

M. le Président remercie vivement notre collègue, le colonel Renard, de son intéressante communication. Il lui est reconnaissant d'avoir mis en lumière, une fois de plus, cette idée que la méthode et la coordination qui sont à la base de la taylorisation, existent tout naturellement et depuis longtemps chez des techniciens français. La seule chose qui nous manque peut-être encore, c'est de généraliser l'application de cette méthode et de cette coordination dans toutes les branches de l'activité industrielle; mais, grâce à l'activité, à l'initiative de nos collègues, M. Henry Le Chatelier, M. de Fréminville, M. Charpy, cette façon de faire tend de plus en plus à s'introduire dans les usines françaises.

M. le Président. — La communication de M. Lalande que vous allez entendre devait déjà nous être faite par lui le 13 novembre dernier. Un deuil de famille survenu à l'improviste l'en a empêché.

M. Lalande, qui a fait toute la guerre dans la même batterie où il a débuté comme sous-officier et fini comme lieutenant, n'a pas craint, une fois revenu à la vie civile avec la croix des braves, d'assumer la lourde tâche de poursuivre ses études à l'École des Mines et, en même temps, de collaborer avec MM. Navarre et fils, les constructeurs bien connus de machines servant à la fabrication des conserves alimentaires. Actuellement, M. Lalande est en pleine période d'examens à l'École des Mines; nous lui savons particulière-

ment gré d'être venu quand même aujourd'hui nous faire la communication qui avait dû être différée. Il donne là un bel exemple d'énergie et de volonté, et nous fournit la preuve que la jeune génération comprend et sait surmonter les difficultés de l'heure présente.

M. Lalande, élève à l'École nationale supérieure des Mines, fait une communication sur *les machines modernes servant à la fabrication des conserves alimentaires*, construites par MM. P. Navarre et fils.

L'importance de l'industrie des conserves en France est considérable. Il y a intérêt à concentrer leur fabrication dans de très grandes usines travaillant mécaniquement, vite, bien et proprement.

En 1914, notre pays comptait 1.400 usines de conserves fabriquant des produits dont la réputation était mondiale et qui s'exportaient en très grandes quantités. Les besoins du front pendant la guerre en ont fait surgir un nombre considérable — elles étaient 7.500 à la fin de 1918 — mais, malheureusement, la plupart des nouvelles usines ont souvent fourni des produits dont la très mauvaise qualité a beaucoup compromis la réputation des conserves françaises auprès des consommateurs. Il y a un courant à remonter.

Fort heureusement, la surproduction au lendemain de la signature de l'armistice, n'a laissé subsister que les maisons solides, sérieuses et puissamment outillées. Il y a à cette concentration, dans de fortes usines, de très grands avantages :

1° La possibilité de choisir les meilleures matières premières et d'éduquer les producteurs agricoles en vue d'une sélection et d'une production plus régulière de ces matières premières ;

2° La possibilité d'utiliser des sous-produits et déchets parce qu'ils sont fournis en assez grande quantité pour justifier la création de fabrications connexes (huile de poisson, poudre de poisson desséché, extraction des sucs des fanes, récupération de la graisse, du suif et de la gélatine des cartilages et des os, fabrication de biscuits pour chiens et, avec les os, d'un aliment phosphocalcaire pour la volaille, préparation d'engrais avec les déchets non utilisables autrement) ;

3° La possibilité de réduire considérablemant les frais de main-d'œuvre ;

4° L'obtention de conserves de valeur et de qualité constantes, de très bonne conservation, et cela, à cause de la régularité et de la propreté que procurent les machines.

M. Lalande décrit quelques-unes des machines récentes les plus typiques :

Machine pouvant, suivant réglage, fabriquer à volonté les purées, les pulpes, les marmelades, et rendant les pelures, peaux et pépins complètement nettoyés et secs. Elle produit 1.000 à 4.000 kg de purée, pulpe ou marmelade à l'heure ;

Dénoyauteuse pouvant, suivant réglage, dénoyauter et couper en deux, le cas échéant, cerises, prunes, quetsches, et distribuer les fruits dénoyautés dans des flacons. Elle coûte 1.800 f, remplace 96 ouvrières habiles, et dénoyaute 800 kg de cerises à l'heure ;

Écosseuse de pois, flageolets ou haricots, classant par grosseur les produits écossés, enlevant la poussière et les impuretés. Elle fournit 4.000 kg de pois écossés à l'heure et remplace 1.300 ouvrières ;

Machine continue à cuire les pois ou d'autres légumes ;

Emboîteuse remplissant 2.000 à 4.000 boîtes à l'heure, selon leurs dimensions;

Sertisseuse mécanique de boîtes en fer-blanc (un seul surveillant suffit pour 10 de ces machines);

Cuiseuse continue dans le vide, avec ou sans ébullition, à une température de 50 à 55°, servant à la fabrication des sirops, des concentrés de tomates, par exemple. Une machine analogue peut concentrer sans cuire ;

Sécheurs continus de fruits et de légumes, à séchage méthodique et n'altérant pas la forme et l'aspect des produits.

Dans presque tous les appareils chauffés, on peut récupérer une partie de la chaleur employée; quelques-uns peuvent utiliser les chaleurs perdues provenant d'autres appareils ou machines de l'usine, comme la vapeur d'échappement. Dans cette voie, cependant, il reste encore beaucoup de progrès à réaliser.

E. L.

M. le Président. — Nous remercions vivement M. Lalande de son intéressante communication et nous lui demandons, quand ses études lui en laisseront le loisir, de nous en remettre un texte détaillé, nous donnant la description complète des curieuses machines qu'il nous a présentées. Nous lui souhaitons aussi un succès brillant dans ses examens. Je dois remercier aussi notre ancien président, M. Lindet, qui, ayant vu ces machines en fonctionnement, a compris l'intérêt qu'il y avait à nous les faire connaître et nous a valu l'intéressante communication que vous venez d'entendre.

La séance est levée à 18 h. 45 m.

BIBLIOGRAPHIE

Les vernis, par M. Ch. Coffignier, Ingénieur-chimiste diplômé de l'École de Physique et de Chimie de Paris. (*Encyclopédie de Chimie industrielle publiée sous la direction de M. Matignon, professeur au Collège de France.*) In-8 (23×15 cm) de VIII + 640 p., avec 37 fig. et II pl. Paris, J.-B. Baillière et fils, 1921. Prix : 40 f.

La fabrication des vernis présente de très grandes difficultés car elle met en œuvre, dans des conditions souvent empiriques, des substances dont la composition est très variable. Qu'il s'agisse par exemple des gommes, elles se comporteront différemment suivant la provenance, et même, dans un même lot, d'un morceau à un autre; pour les huiles, la siccativité présente également des différences notables. On comprend donc qu'outre les connaissances chimiques, le fabricant devra faire intervenir son expérience propre. C'est ce qui est réalisé dans l'ouvrage sur les vernis que publie M. Coffignier. Élève de l'École de Physique et de Chimie, il a consacré plus de vingt années à la pratique de cette industrie; ainsi se trouvent réunies les meilleures conditions pour que son ouvrage donne complète satisfaction à ceux qui le consulteront.

La première partie consiste en une étude détaillée des résines dures, demi-dures, tendres, désignées, avec les oléorésines et les baumes, sous le nom générique de *gommes*. M. Coffignier, qui a eu l'occasion d'en voir passer un grand nombre dans la fabrication, les a étudiées avec un soin tout particulier. Il a donné, pour de nombreux échantillons d'origine certaine, les caractéristiques principales : la dureté, avec des renseignements très originaux sur leur examen au microscope, le point de ramollissement et de fusion, le chiffre de l'acide, l'indice de Köttestorfer, enfin les proportions du soluble et de l'insoluble dans les divers solvants avec l'aspect de la dissolution. Tous ces résultats ont d'autant plus de valeur qu'ils ont été obtenus, pendant de longues années, par un même opérateur.

M. Coffignier signale les nombreuses divergences pour l'insoluble entre les divers auteurs; cela est inévitable, car les échantillons sont très différents. Pour éviter ou diminuer ces différences, il serait peut-être bon, dorénavant, d'indiquer le degré de finesse de la poudre sur laquelle on fait agir le solvant, car la solubilité d'une gomme varie souvent avec la finesse.

Un chapitre tout à fait nouveau est celui qui s'occupe des *résines synthétiques* ou résines phénoliques, produits qui avaient pris une grande importance en Allemagne. Quoique ayant donné certains résultats très encourageants à des fabricants français, ils sont encore trop peu connus comme préparation et emploi.

Enfin, l'auteur donne des détails sur l'examen des gommes à vernis et sur leur commerce. Il signale l'intérêt qu'il y aurait pour nos colonies et, en particulier, pour Madagascar, de récolter et de nous expédier leurs excellents produits.

Dans la fabrication des vernis gras, on emploie comme dissolvants les *huiles siccatives*, généralement de l'huile de lin, et on étend ensuite la solution obtenue avec un dissolvant volatil qui, le plus souvent, est l'essence de térébenthine. Suit, alors, une importante étude sur les propriétés de l'huile de lin et sur d'autres huiles siccatives et demi-siccatives, ainsi que sur certaines huiles qui ont également pris place dans la fabrication des vernis gras, telles que l'huile d'Éléococca, ou huile de Chine, wood oil. Un chapitre est consacré à l'analyse des huiles et aux essais d'ordre physique et chimique.

Enfin cette première partie se termine par l'étude de l'*essence de térébenthine*.

M. Coffignier passe ensuite à la *fabrication des vernis gras*. Il étudie les divers procédés de solubilisation des copals avec perte de poids, par la pyrogénation, ou sans perte de poids.

L'adjonction des huiles et de l'essence de térébenthine aux gommes fondues est exposée avec soin.

Le chapitre se termine par des détails sur la filtration et la conservation des vernis.

La *siccativation des huiles* fait l'objet d'une étude toute spéciale, car il s'agit là d'une question de grande importance au point de vue des qualités et des propriétés d'un vernis gras.

Ayant ainsi donné les méthodes permettant d'obtenir les vernis gras, M. Coffignier passe en revue les différents vernis employés dans le bâtiment, l'industrie, etc., d'abord en rappelant les vieilles formules, puis les plus modernes, et enfin celles que la pratique lui a montrées comme pouvant conduire à de bons résultats.

Les propriétés, qualités ou défauts de ces vernis sont passés en revue et un chapitre est consacré à l'analyse et aux essais des vernis gras.

La troisième partie traite des *vernis à l'essence* ou vernis maigres : ils ne contiennent pas d'huile, sèchent plus rapidement, mais laissent un enduit beaucoup moins solide que les vernis gras. On trouve l'analyse et l'essai des vernis à l'essence.

La quatrième partie s'occupe des *vernis a l'alcool* et des *vernis à solvants divers* ou *mélangés*. D'intéressants renseignements sont donnés sur les vernis aux acétates de cellulose qui ont pris tant d'importance.

La cinquième partie, enfin, comprend les *vernis spéciaux* au caoutchouc, aux laques, et à solvants entièrement ou partiellement volatils.

D'après le résumé que nous venons de faire on comprend facilement que cet ouvrage rendra de grands services aux fabricants de vernis qui y trouveront tous les renseignements nécessaires sur les matières premières et leur mode d'emploi dans la fabrication, suivant le but qu'ils se proposent. Du reste, la préface élogieuse que M. Haller a bien voulu écrire est le plus sûr garant de sa valeur.

A. Livache.

Les sténographes polyglottes, par M. Maugeis de Bourguesdon, sténographe suppléant de la Chambre des Députés, ancien directeur de la Fédération d'Exportation des Liqueurs. Un vol. broché (14×22,5 cm) de 191 p. Paris, éditions Estoup, 148, avenue du Maine (14[e]) et chez l'auteur, 30, rue de Bourgogne (7[e]), Prix : 6,30 f.

Cet ouvrage, malgré son titre, n'est pas un traité de sténographie, mais un recueil de documents assez divers, intéressant patrons et employés.

Ce livre traite les questions suivantes : moyens à employer pour étudier les langues vivantes; valeur respective des langues (y compris l'esperanto) au point de vue commercial; séjour et placement à l'étranger; la sténographie des langues (adaptation d'un système à une langue étrangère); la profession de secrétaire polyglotte.

Cet ouvrage fourmille de renseignements pratiques précis et d'aperçus originaux. L'auteur part de cette idée que la connaissance de la sténographie et celle des langues étrangères ne sont plus des spécialités. Tout bon employé de bureau, tout secrétaire doit non seulement savoir rédiger correctement une lettre d'affaires dans sa langue maternelle et dans une langue étrangère au moins, mais aussi sténographier dans ces deux langues. Il doit aussi savoir écrire à la machine. Ceci étant admis, l'auteur indique, à un bon employé sachant la sténographie française, les moyens pratiques d'apprendre rapidement une langue étrangère et sa sténographie, ce qui lui permet d'améliorer considérablement sa situation. Citons quelques aphorismes de l'auteur.

On n'apprend pas une langue étrangère sans maître.

Les langues s'apprennent moins par les yeux que par l'oreille et la bouche.

Il est plus avantageux de connaîttre la sténographie du français et d'une seule langue étrangère que de savoir plusieurs langues étrangères et d'ignorer la sténographie.

Quand on est intelligent et actif, il n'est pas nécessaire d'avoir atteint la quasi-perfection dans la possession d'une langue étrangère pour briguer un poste de polyglotte, parce que : cette perfection est irréalisable; le degré de connaissance qu'il faut avoir d'une langue pour s'en servir utilement dépend des circonstances.

« Le peu que doit savoir un employé *débrouillard* est surprenant. »

Il faut toujours s'adapter, chez un nouveau patron, à des conditions nouvelles; on se perfectionne en s'adaptant à ces conditions.

Un sténographe polyglotte ne peut sortir de la médiocrité que s'il possède ou sait acquérir des connaissances techniques spéciales. Cette acquisition peut se faire en même temps que celle des habitudes du nouveau patron.

En ce qui concerne l'étude des langues étrangères, quiconque est polyglotte ne peut avoir d'autre opinion que celle de l'auteur.

M. Maugeis de Bourguesdon recommande plus particulièrement les cours de la Société pour la Propagation des Langues étrangères en France, 28, rue Serpente, Paris (6e) (fondée par J.-B. Rauber en 1891) qui se tiennent le matin, l'après-midi, le soir et le dimanche matin. Nous connaissons bien cette Société, dont nous faisons partie depuis vingt ans, et nous pouvons confirmer les assertions de l'auteur. Ses cours présentent une variété qui permet de satisfaire presque tous les besoins : cours gradués, séances de conversation ou de lecture, cours commerciaux, cours pour enfants, sténographie anglaise, conférences, séances de discussion, préparation à certains examens. L'anglais, l'allemand, l'espagnol et l'italien disposent d'une profusion de cours incroyable : souvent ces cours se doublent ou se triplent même et sont faits par de nombreux professeurs différents. On y enseigne aussi les langues secondaires comme : le russe (très bien enseigné), le portugais, le roumain, le polonais, le serbe, le tchèque, le bulgare, le néerlandais; les langues rares comme : l'arabe, le chinois, le japonais, les langues scandinaves, le grec moderne, le magyar.

Il suffit que cinq sociétaires désirent apprendre une de ces dernières langues pour que le cours soit créé ou repris. En général, les professeurs sont excellents; malheureusement, en choisissant les nouveaux professeurs, le Conseil de cette société semble s'inspirer de moins en moins d'une des idées directrices du fondateur, le regretté Rauber, à savoir : faire enseigner toutes les langues par des professeurs indigènes. Ce principe n'est plus observé rigoureusement que pour les langues secondaires ou rares. Mais ces cours ont presque tous conservé leur caractère pratique du début; ceci aidant, la valeur et le dévouement de la plupart des professeurs corrigent très fréquemment le caractère peut-être un peu trop littéraire que les cours tendent à prendre de plus en plus.

Le livre de M. Maugeis de Bourguesdon, plein d'idées et de faits, agréable à lire, mérite à tous égards d'être recommandé aux jeunes employés de commerce courageux, soucieux d'assurer leur avenir. E. L.

Le bassin pétrolifère de Pechelbronn (Alsace), par M. Gignoux, professeur à l'Université de Strasbourg, et C. Hoffmann, géologue aux mines de Pechelbronn. Un vol. br. (18×26 cm), 46 p., 3 fig., 3 pl. hors texte dont 2 en couleurs. Imprimerie strasbourgeoise, édit. Strasbourg, 1920.

Exploitation du pétrole par puits et galeries, par Paul de Chambrier, directeur général des mines de Pechelbronn, chargé d'un cours libre à l'Université de Strasbourg. Un vol. broché (13,5×21,5 cm), 106 p., 5 fig., 1 pl. hors texte. Dunod, édit., Paris, 1921.

Ces deux ouvrages, adressés à la Société d'Encouragement par notre collègue, M. Paul de Chambrier, traitent de la géologie et de l'exploitation des célèbres gisements pétrolifères de Pechelbronn, en Alsace reconquise (1).

Ces gisements présentent deux particularités. Ce sont les seuls dont l'exploitation se fasse par puits et galeries; ce sont peut-être les seuls aussi où, grâce à la persévérance et à l'initiative d'industriels comme Le Bel, le fondateur, et M. de Chambrier, le directeur actuel, la science géologique et l'exploitation industrielle se soient donné un mutuel appui.

Le premier ouvrage montre les précieux enseignements que la géologie a retirés de cette collaboration et ce que, en retour, cette science a pu faire pour guider les recherches d'une façon rationnelle. « Les industriels reprochent souvent aux géologues d'être incapables de leur donner des *prévisions* précises, et cela est exact, car il est rare qu'on puisse affirmer que tel ou tel emplacement donnera à coup sûr un forage fructueux. Aussi bien, les véritables géologues savent reconnaître que tel n'est point leur rôle : leur ambition se borne simplement à limiter le champ des recherches et à les guider, ce qui est d'ailleurs vrai, non seulement pour les pétroles, mais aussi pour la plupart des autres questions de géologie appliquée; ainsi compris, ce rôle n'en est pas moins important. »

Malgré l'absence des affleurements et la difficulté de caractériser les horizons

(1) Voir à ce sujet la communication faite par M. Paul de Chambrier à la Société d'Encouragement, le 6 décembre 1919, dans le *Bulletin* de janvier-février 1920, p. 45.

stratigraphiques qui font de Pechelbronn une des régions pétrolifères où la tâche du géologue est le plus difficile, Pechelbronn est cependant celle de ces régions où les prévisions des géologues se sont le mieux vérifiées toutes les fois que les recherches ont été conduites avec prudence.

Le livre de M. de Chambrier est en quelque sorte la mise au net des notes qui lui ont servi à faire son premier cours libre sur la technologie des pétroles à l'Institut de Chimie de l'Université de Strasbourg. La méthode d'extraction de Pechelbronn peut être appelée en effet à trouver son application dans d'autres gisements pétrolifères et à augmenter considérablement leur rendement. Dans cet ouvrage, on trouvera non seulement tout ce qui est particulier à Pechelbronn mais aussi :

Des notions très élémentaires sur l'exploitation des mines en général, destinées surtout à de jeunes chimistes, et empruntées largement aux ouvrages de M. Haton de la Goupillière et de M. Jean Bès de Berc;

Une comparaison entre le rendement des exploitations des États-Unis et celui de l'exploitation alsacienne.

Aux États-Unis, on semble avoir intensifié à l'extrême limite l'extraction du pétrole par sondage, procédé qui a l'inconvénient de laisser dans le sous-sol une bonne partie de l'huile qu'il contient. Ce procédé peut être quelquefois avantageux, si on veut atteindre une grande production dans le minimum de temps; on a cependant souvent le plus grand intérêt à l'éviter car cette grande production, momentanée, se traduit par un gaspillage. C'est cette considération qui doit l'emporter quand il s'agit d'une richesse du sous-sol aussi précieuse pour un pays, que le pétrole.

M. de Chambrier a donné une explication théorique du suintement de l'huile dans les galeries de drainage et a établi une méthode d'estimation des réserves contenues dans un gisement exploité par sondage. Il est convaincu que sa connaissance et celle de la méthode d'exploitation par puits et galeries permettraient de remettre en valeur plusieurs gisements pétrolifères qui passent, à tort, aujourd'hui, pour être épuisés.

E. L.

OUVRAGES REÇUS A LA BIBLIOTHÈQUE

EN FÉVRIER 1921

BUREAU INTERNATIONAL DU TRAVAIL. — **Enquête sur la production.** In-8 (24 × 15). I : *Mémoire introductif*, de 224 p. Paris, Berger-Levrault, 1920. **16182**

TÉDESCO (N. DE). — **Calcul du ciment armé sans formules algébriques.** In-8 (24 × 15) de 176 p., 63 fig. (formant 24 pl.). Paris, Éditions du *Constructeur de Ciment armé*, 148, boulevard Magenta, 1921. **16183**

KAYSER (EDMOND). — **Microbiologie appliquée à la fertilisation du sol.** (*Encyclopédie agricole*). 4e éd., de 325 p., 49 fig. **Bibliographie**, p. 319-320. — **Microbiologie appliquée à la transformation des produits agricoles** (*Encyclopédie agricole*). 4e éd., de 390 p., 53 fig. **Bibliographie**, p. 383-384. Paris, J.-B. Baillière et Fils, 1921. **16184-5**

ARNITZ (MAURICE). — **Les nouvelles dispositions relatives aux bénéfices de guerre** (*Lois du 25 juin 1920, du 29 juin 1920 du 31 juillet 1920*). In-8 (22 × 14) de 195 p. Paris, chez l'auteur, 12, rue Littré; et Marcel Rivière, 31, rue Jacob, 1920. **16186**

Mission d'études forestières envoyée dans les colonies françaises, par les MINISTÈRES DE LA GUERRE, DE L'ARMEMENT ET DES COLONIES. Chef de Mission : Commandant A. BERTIN. In-8 (25 × 16). Tome IV : **Les bois du Cameroun**, de 312 p., VIII pl. et 5 cartes. — Tome V : **Les bois de la Guyane française et du Brésil**, de VI + 323 p., 24 fig., II pl. et 3 cartes. Paris, E. Larose, 1920. **16187-8**

WURTZ (A.). — **Progrès de l'industrie des matières colorantes artificielles.** In-8 (24 × 15) de VII + 192 p., V pl. et 29 échantillons de soie, de laine et de coton teints. Paris, G. Masson, 1876 (*Don de M. Prud'homme, membre du Conseil d'Administration*). **16189**

COFFIGNIER (Ch.). — **Les vernis** (*Encyclopédie de chimie industrielle*). In-8 (23 × 15) de VIII + 640 p., 37 fig., II pl. Paris, J.-B. Baillière et Fils, 1921. **16190**

PIGAL (H.). — **Méthode pratique de règle à calcul, type Mannheim,** à l'usage des élèves des écoles pratiques et professionnelles, dessinateurs, contremaîtres, mécaniciens, industriels, etc. In-8 (23 × 14) de 114 p., 61 fig. Paris, Desforges, 1921. **16191**

RÉMAUR (JEAN). — **Notions élémentaires de télégraphie sans fil et construction pratique de postes récepteurs** (Ondes amorties et entretenues). In-8 (22 × 13) de 116 p., 61 fig. Paris, Desforges, 1921. **16192**

CESTRE (CHARLES). — **Production industrielle et justice sociale en Amérique** (*Bibliothèque d'information sociale*). In-12 (19 × 12) de XXIX + 342 p. **Bibliographie**, p. 333-337. Paris, Garnier frères. 1921. **16193**

* * *

BERTHELOT (C.). — **La technique moderne de l'industrie des goudrons de houille** (*Revue de Métallurgie*, février à mai 1920, 104 p., 58 fig.). **Pièce 12596**

Les prix de détail comparés à Bruxelles, Paris, Londres et Amsterdam (*Revue du Travail* (*Belgique*), décembre 1920, 12 p.). **Pièce 12597**

DESCHIENS (MAURICE). — **Les enduits pour plans d'avions** (*Revue des Produits chimiques*, 15 janvier 1921, p. 3-10). **Pièce 12598**

The Bregeat Process for the Recovery of Volatile Solvents. In-4 (29 × 20) de 16 p., VII pl. New York, The Bregeat Corporation of America. **Pièce 12599**

Grebel (A.). — **Le débenzolage du gaz.** Résultats obtenus pendant la guerre. Procédés nouveaux (*Génie Civil*, 8 novembre 1919, 26 p., 10 fig.). **Pièce 12600**

* * *

Association française pour la Protection de la Propriété industrielle. — **Bulletin.** 2e série, n° 13 (1920) : *Travaux de l'Association.* Paris, 117, boulevard Saint-Germain. **Pér. 320**

American Institute of Mining and Metallurgical Engineers. — **Transactions.** Vol. LXIII. New York, 1920. **Pér. 201**

Société technique de l'Industrie du Gaz en France. — **Compte rendu du 43e Congrès tenu à Paris en 1920.** Paris, 12, rue de Clichy. **Pér. 298**

Grand Quartier Général des Armées du Nord et de l'Est. Inspection générale des Travaux et Organisations aux Armées. — **Bulletin de renseignements du Génie.** Nos 1 (30 sept. 1917) à 12 (juillet 1919). Paris, Imprimerie nationale.

(Ce Bulletin, qui était secret, a remplacé depuis le mois de juillet 1914 jusqu'à fin 1919, la Revue du Génie militaire, qui a recommencé à paraître en 1921 ; il est classé à la même cote de périodique que cette Revue.) **Pér. 11**

L'agent général, gérant,
E. Lemaire.

Coulommiers. — Imp. Paul BRODARD.

BULLETIN

DE

LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT

POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

COMITÉ DES ARTS MÉCANIQUES

Rapport présenté par M. Ed. Sauvage au nom du Comité des Arts mécaniques, sur les *appareils jaugeurs* de M. Piette.

M. Piette, Ingénieur civil des Mines (29, rue du Moulin-de-Pierres, Clamart, Seine), soumet à la Société d'Encouragement les appareils qu'il a étudiés pour la mesure du débit des conduites de fluides, appareils applicables surtout aux conduites de grand diamètre. M. Piette a déjà obtenu, dans cette étude, des résultats intéressants; il continue ses recherches et demande à cet effet une subvention de la Société.

Les appareils de M. Piette comportent l'emploi d'un manomètre différentiel, auquel il a donné une disposition ingénieuse. Le manomètre se compose d'un tube métallique (fig. 1, 2 et 3), courbé à sa partie inférieure suivant une circonférence de cercle et renfermant du mercure qui occupe la moitié de la circonférence. Deux billes de fer flottent sur le mercure. Le déplacement de ces billes correspond à la dénivellation manométrique : il est indiqué à l'extérieur par la rotation d'aimants qui embrassent le tube. Le tube est en métal peu magnétique (ferro-nickel à 25 p. 100 de nickel). Un étranglement à la partie inférieure du tube empêche les billes de passer d'un côté à l'autre; le passage se trouve obturé par l'une des billes dans le cas où la différence de pression à mesurer dépasse celle qui est prévue.

M. Piette a étudié expérimentalement avec grand soin tous les détails du fonctionnement de cet appareil.

Pour enregistrer les indications de ce manomètre, il en remplace l'aiguille indicatrice par une came légère en aluminium (fig. 4), dont la courbure est déterminée de manière à intercepter sur la génératrice du tambour enregistreur des ordonnées proportionnelles au débit à mesurer. Cette génératrice est un fil tendu auprès du papier que porte le tambour, et imprégné d'encre comme un ruban de machine à écrire. La came est appuyée périodiquement sur ce fil, et marque un point sur le papier.

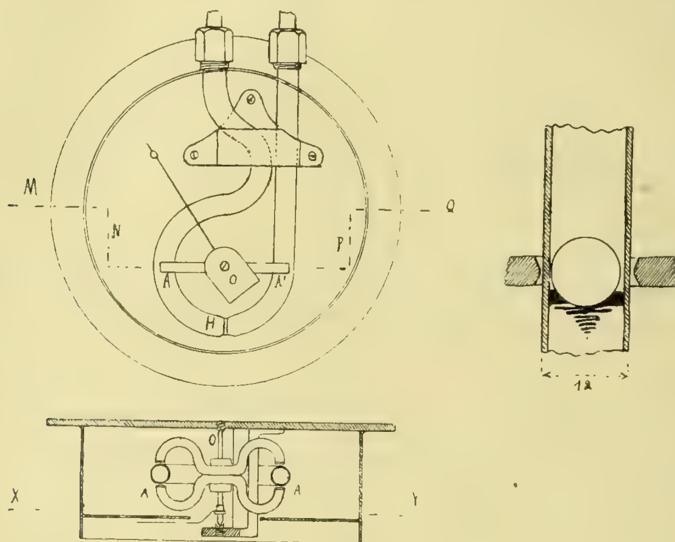


Fig. 1, 2 et 3. — Manomètre différentiel à indication magnétique de M. Piette.
Fig. 1. Vue de face, cadran enlevé. — Fig. 2. Coupe des pôles de l'aimant par AA'. — Fig. 3. Coupe horizontale par MNPQ.

Le diagramme ainsi obtenu donne le débit moyen par une simple mesure au planimètre, grâce à la proportionnalité des ordonnées aux débits.

Pour le jaugeage d'un fluide circulant dans une conduite, le tube de Venturi donne de bons résultats. Toutefois M. Piette fait remarquer que, pour une conduite de grand diamètre, l'installation de cet appareil, surtout si elle est faite après coup, entraîne une dépense importante. Il a étudié un appareil analogue, composé d'une petite tuyère (fig. 5), qui peut se placer à l'intérieur de la conduite, qu'il n'est plus nécessaire de remplacer sur une certaine longueur. Mais, ainsi monté, un Venturi ordinaire ne donnerait pas l'indication exacte de la vitesse du courant, parce que cette vitesse se trouverait réduite dans la tuyère

par la résistance qu'elle oppose. M. Piette a eu l'idée de compenser cette réduction de vitesse à l'entrée par l'augmentation de la section de sortie, ainsi qu'on le voit sur la figure 5. Une série d'expériences, exécutées dans le laboratoire de la compagnie française des compteurs d'eau, lui a permis d'étudier le fonctionnement de cette tuyère, et d'en

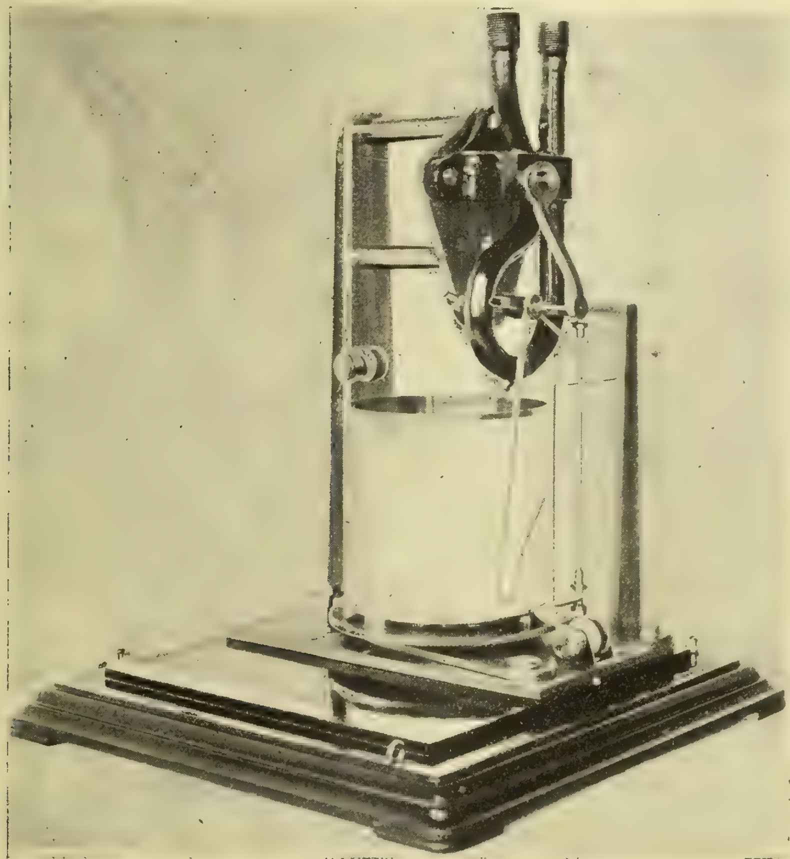


Fig. 4. — Enregistreur de débit à ordonnée proportionnelle de M. Piette.

déterminer les proportions. Les expériences, très soigneusement faites, ont toujours été accompagnées de l'étude théorique des phénomènes. D'autres essais ont été exécutés sur les conduites de la Compagnie parisienne de l'Air comprimé. Ajoutons que la Ville de Paris a demandé à M. Piette une application de ses appareils de mesure.

En résumé, M. Piette a présenté deux appareils connexes fort ingénieux qu'il a étudiés avec grand soin et d'une manière vraiment

scientifique. Actuellement, il désire les appliquer à la mesure des débits de vapeur, et c'est pour ces expériences nouvelles qu'il demande l'aide de la Société.

En raison, d'une part, de l'intérêt de cette recherche, et d'autre part, des garanties que nous offre M. Piette par l'œuvre qu'il a déjà menée à bien, votre Comité des Arts mécaniques a l'honneur de vous demander : 1° de remercier M. Piette, de son intéressante communication;

2° Pour aider M. Piette à rechercher le moyen d'appliquer ses appareils à la mesure des débits de vapeur, de retenir ses travaux parmi ceux qu'en principe notre Société est disposée à subventionner et à récompenser;

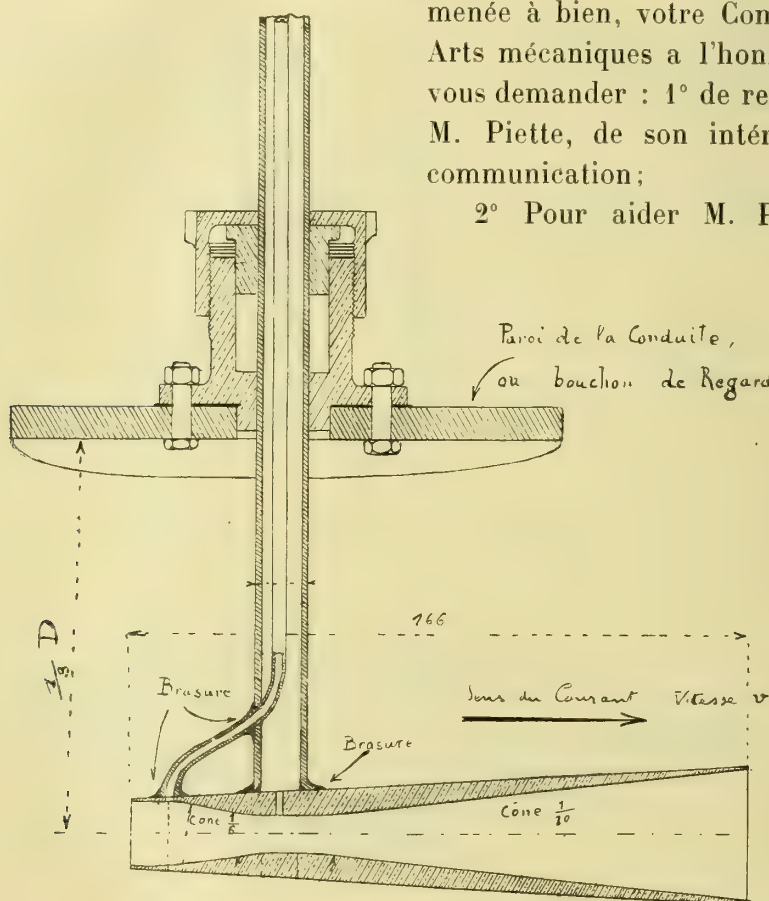


Fig. 5. — Appareil jaugeur de M. Piette.

3° D'insérer dans notre *Bulletin* le présent rapport, avec les figures qui l'accompagnent.

Ed. Sauvage.

Lu et approuvé en séance publique le 9 avril 1921.

COMITÉ DES ARTS ÉCONOMIQUES

Rapport présenté, au nom du Comité des Arts économiques, par le Lieutenant-Colonel Paul Renard sur *trois ouvrages* publiés par le Lieutenant de vaisseau Rouch.

M. le Lieutenant de vaisseau Rouch, professeur à l'École Navale, ancien membre de la Mission Antarctique Charcot, ancien chef du Service météorologique aux Armées, a adressé à la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale, les ouvrages suivants, édités par la librairie Masson.

1° *Manuel pratique de météorologie*;

2° *Préparation météorologique des voyages aériens* ;

3° *Le compas de navigation aérienne.*

Il a déjà été rendu compte du premier ouvrage (1). Rappelons qu'il permet à toute personne ayant reçu une instruction scientifique élémentaire de s'initier rapidement, d'une manière théorique et pratique, à la météorologie.

L'auteur expose l'état actuel de nos connaissances en cette matière et les moyens à employer pour en tirer un parti utile au point de vue de la prévision du temps. Cette question intéresse au plus haut degré les navigateurs de la mer et de l'air, les agriculteurs et, en général, tous ceux qui ont à tenir compte de la pluie et du beau temps, c'est-à-dire tout le monde.

Après l'énonciation des principes généraux de la prévision du temps, l'ouvrage décrit les cartes météorologiques et indique la manière de s'en servir. Il donne ensuite des indications détaillées sur la marche des dépressions barométriques et des anticyclones, et les conséquences pratiques à tirer de ces phénomènes.

Puis quelques chapitres sont consacrés à des phénomènes spéciaux notamment aux grains et à la brume.

(1) Voir le compte rendu de la séance publique du 20 décembre 1919, dans le *Bulletin* de janvier-février 1920, p. 117.

Enfin, après avoir parlé de la météorologie de la haute atmosphère, l'auteur fait connaître quelles sont les difficultés actuelles de la prévision du temps ainsi que les probabilités de réussite ou d'insuccès. Pour conclure, il affirme la possibilité de tirer pratiquement de nos connaissances actuelles un parti beaucoup plus grand qu'on ne le fait d'habitude aujourd'hui, et il espère que, par suite du développement de nos connaissances météorologiques, le problème de la prévision deviendra de plus en plus susceptible de solutions précises et sûres.

Le manuel pratique a été publié à la fin de 1919 (1). *La préparation météorologique des voyages aériens* date de 1920.

Le titre seul de cet ouvrage en indique le but. C'est une sorte de climatologie spéciale pour les navigateurs de l'air.

Le premier chapitre est consacré à l'étude des vents au voisinage du sol ; le deuxième, à l'étude du vent aux altitudes élevées. Dans le troisième, on étudie les nébulosités, les précipitations, les brumes, les grains et les orages. Le dernier chapitre est consacré à l'application des données météorologiques au choix des terrains d'atterrissage.

On retrouve évidemment dans cette brochure un certain nombre de questions traitées dans la précédente, mais ici, l'auteur les examine au point de vue spécial des navigateurs de l'air et leur donne de précieux conseils sur les renseignements dont ils doivent s'entourer avant d'entreprendre des voyages au long cours à travers l'atmosphère. Il est certain que beaucoup de mécomptes et d'accidents auraient été évités si l'on avait toujours pris les précautions signalées par le Lieutenant de vaisseau Rouch.

Pour n'en citer qu'un seul exemple, nous mentionnerons qu'au chapitre IV, page 54, M. Rouch signale qu'en 1916, on avait choisi en Angleterre un terrain d'atterrissage destiné aux Écoles de bombardiers aériens. De 1916 à 1917, on y a dépensé environ 12 millions de francs pour des travaux d'assainissement et d'aménagement; après quoi, on s'est aperçu qu'en raison de la situation géographique de ce terrain, l'atmosphère y était constamment agitée, les rafales fréquentes et les sautes de vent y étaient la règle. Des aviateurs de premier ordre pouvaient à la rigueur s'y risquer, mais il était impossible d'y installer une école de pilotage.

(1) Cette première édition a été suivie presque immédiatement d'une seconde parue au commencement de 1921.

On renonça donc purement et simplement à utiliser cet aérodrome après avoir dépensé des sommes considérables en travaux inutiles; et cela se passait en pleine guerre.

M. Rouch fait observer avec raison qu'on avait consulté différents spécialistes en assainissement de terrains, en construction de hangars, mais qu'on avait négligé de consulter un météorologiste. Comme conclusion M. Rouch exprime l'avis suivant auquel je m'associe complètement :

« Si l'on veut que la météorologie rende tous les services dont elle est capable, il faut que le météorologiste devienne aéronaute et que l'aéronaute devienne météorologiste. »

La troisième brochure est consacrée à une question spéciale fort intéressante en aéronautique *Le compas* (boussole) *de navigation aérienne*.

Comme cet ouvrage s'adresse à des pilotes aviateurs dont le degré d'instruction scientifique est très variable, l'auteur consacre un premier chapitre à l'exposé sommaire des principes du magnétisme.

Cette partie est inutile aux pilotes qui possèdent des connaissances suffisantes en la matière. Mentionnons qu'elle est à dessein rédigée de manière à supprimer tout appareil mathématique inutile. Il en est de même, d'ailleurs, dans le reste de l'ouvrage; ce qui à mes yeux est loin d'en diminuer le mérite.

Un deuxième chapitre est consacré au compas en général, aux qualités spéciales qu'il doit posséder pour être employé à bord des dirigeables ou des avions, et enfin à la description de modèles de compas actuellement employés en aéronautique.

Le chapitre III signale les difficultés spéciales de l'emploi du compas en navigation aérienne. Parmi ces difficultés, les unes sont dues à l'influence de nuages électriques dont l'aviateur s'approche souvent et qu'il est amené parfois à traverser. Les autres tiennent à des perturbations dues aux mouvements de l'aéronef. Ces perturbations peuvent rendre paresseuses les indications du compas et même les fausser momentanément. Ces inconvénients, dont on avait négligé de rechercher les causes et de déterminer l'importance, ont causé des mécomptes à un grand nombre d'aviateurs pendant la guerre et contribué à créer des préjugés très tenaces contre l'emploi du compas

en navigation aérienne. Le chapitre III est principalement destiné à combattre ces préjugés.

La fin de l'ouvrage est consacrée à l'étude des déviations du compas de l'aéronef et aux moyens de les corriger par une compensation méthodique.

Moins intéressant que les deux précédents pour le grand public, cet ouvrage est susceptible de rendre aux aviateurs et aux aéronautes des services importants.

Ces trois ouvrages forment un ensemble qui présente sous une forme concise et attrayante, des notions extrêmement précieuses pour tous ceux qui s'intéressent aux choses de l'atmosphère et aux navigateurs aériens en particulier.

Votre Comité des Arts Économiques est d'avis que la Société d'Encouragement fera œuvre utile en les signalant et en les récompensant. Il vous propose donc de retenir l'ensemble des ouvrages de M. le Lieutenant de vaisseau Rouch parmi ceux qu'en principe, notre Société est disposée à récompenser, de remercier l'auteur de l'envoi de ses ouvrages et d'ordonner l'insertion du présent rapport au *Bulletin* de la Société.

Le Rapporteur,
Lieutenant-Colonel PAUL RENARD.

Lu et approuvé en séance publique le 9 avril 1921.

ORIGINE DE LA POULIE,
DU TREUIL, DE L'ENGRENAGE, DE LA ROUE DE VOITURE, ETC.
ÉTUDE SUR LE FROTTEMENT DES CORDES
ET SUR LES PALANS

LA POULIE

1. — L'origine de la poulie.

Les Grecs attribuaient l'invention de la poulie à Archytas, philosophe pythagoricien, né à Tarente vers 440 avant notre ère et mort dans un naufrage, à l'âge de quatre-vingts ans.

En réalité, la poulie n'a pas été inventée d'un seul jet, elle est le résultat de modifications mécaniques successives.

On en trouve les premières traces dans l'ignitérébrateur rotatif, appareil primitif à faire le feu, que les archéologues considèrent comme un des plus anciens instruments imaginés par l'homme.

Dans une étude antérieure (1) j'ai indiqué que, au cours de son évolution, l'ignitérébrateur avait consisté en un bâton pointu que l'homme frottait, par un mouvement rectiligne alternatif de va-et-vient, dans une rainure longitudinale pratiquée sur un morceau de bois (fig. 1).

Mais, pendant cette course du bâton, l'air refroidissait rapidement la partie de la rainure qui cessait momentanément d'être frottée. Pour éviter ce ralentissement du chauffage, l'ouvrier a imaginé de donner de la continuité au contact, en localisant le frottement de l'extrémité obtuse du bâtonnet dans une petite cavité en forme de cupule (fig. 2); pour obtenir ce résultat, il fait tourner rapidement le bâtonnet en le roulant entre les deux mains. Pendant cette rotation alternative les surfaces flottantes des deux morceaux de bois restent constamment en contact, comme celles d'un pivot et de sa crapaudine, et elles s'échauffent plus vite que dans le procédé précédent, par frottement longitudinal.

(1) Ch. Fremont, *Origine et évolution des outils*; mémoire publié en 1913 par la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale (p. 36).

Puis, après avoir réussi à atténuer le refroidissement possible, l'ouvrier a cherché à accélérer l'échauffement du bois; il obtint ce résultat en augmentant la vitesse de rotation du bâtonnet, vitesse qu'il produisit en entraînant le bâtonnet à l'aide d'une corde tirée, alternativement dans les deux sens, par chacune des mains, soit de l'opérateur lui-même (fig. 3) soit d'un aide (fig. 4).

Pour augmenter l'adhérence de la corde, afin de l'empêcher de glisser, on l'enroule parfois de plusieurs tours sur le bâtonnet.



Fig. 1. — Obtention du feu par frottement longitudinal d'un bâton dans une rainure.

Il n'existe plus d'ignitérébrateurs préhistoriques parce que le bois est d'une durée très limitée; mais l'ethnographie nous permet de les concevoir d'après ceux dont se servent les hommes primitifs actuels, car l'homme, dans son évolution industrielle, suit partout et toujours le même chemin.

Dans l'antiquité historique on retrouve ce même procédé appliqué au fonctionnement du foret ou de la mèche, c'est la première machine à percer. Homère, dans l'*Odyssée* (IX, 384), le décrit clairement ainsi : « De même « qu'avec le foret, un homme perce la poutre du navire, que d'autres, en « agissant sur les deux extrémités de la corde qui « entoure l'outil, lui communiquent constamment un mouvement de rota- « tion, de même nous tournions... ».

L'archet, dont j'ai expliqué l'origine et l'évolution (p. 44 du même mémoire), permet de mouvoir la corde d'une seule main (fig. 5 et 6).

Le bâtonnet, entraîné par l'archet, doit avoir parfois un assez gros diamètre, soit pour éviter la flexion par flambement sous une pression axiale (fig. 5), soit parce que les deux extrémités doivent recevoir intérieurement des organes supplémentaires (fig. 6).

Dans tous les cas, le bâtonnet, véritable arbre moteur, aura d'autant moins de vitesse, pour une même vitesse de la corde, qu'il aura un plus gros diamètre, à l'endroit de l'enroulement de celle-ci.

Pour *augmenter la vitesse de l'arbre,* sans changer la vitesse linéaire de la



Fig. 2. — Obtention du feu par giration d'un bâton, chez les Naturels de Rawack et de Wacgiou (J. Arago).

corde motrice, l'ouvrier a eu l'idée ingénieuse de réduire le diamètre de l'arbre, à l'emplacement de la corde d'entraînement, ainsi qu'on le voit sur les figures 5 et 6 ; quitte pour lui à enrouler la corde de plusieurs spires pour obtenir une adhérence suffisante.

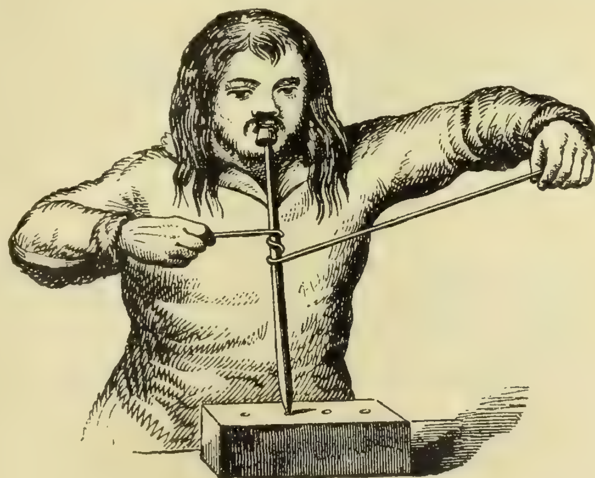


Fig. 3. — Ignitérébrateur a giration par corde. Iles Aléoutiennes (d'après Tylor).

Pour *augmenter l'effort d'entraînement de l'arbre moteur,* sans changer l'effort de la main motrice, l'ouvrier ingénieux a, inversement, augmenté le diamètre de l'arbre, à l'endroit de l'enroulement de la corde (fig. 7 et 8).

Dans le perçoir au foret, dérivé de l'ignitérébrateur, l'effort, pour détacher les parcelles de la

matière à forer, est parfois assez élevé pour nécessiter l'augmentation du diamètre de l'arbre, à l'endroit où s'enroule la corde.

Quand cette augmentation du diamètre est peu importante, le corps de

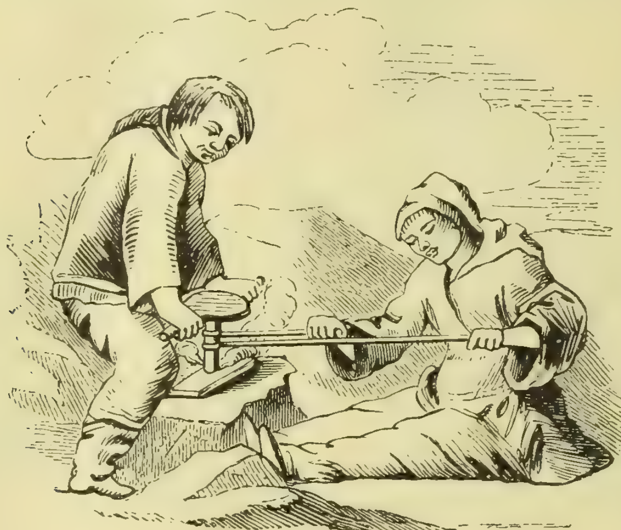


Fig. 4. — Reproduction d'une gravure du XVIIIe siècle montrant deux Esquimaux actionnant un ignitérébrateur par giration.

l'arbre peut être construit directement au diamètre voulu; mais si le diamètre nécessaire est excessif pour une construction pratique et économique de l'instrument, l'ouvrier est conduit à rapporter un disque solidaire de l'arbre, d'une épaisseur suffisante pour recevoir la corde motrice, ainsi qu'on le voit sur la figure 8; c'est la *poulie*.

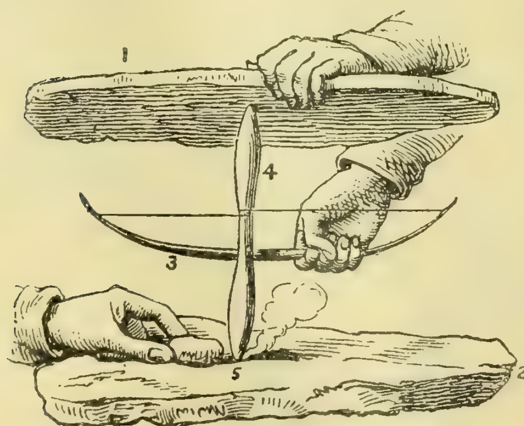
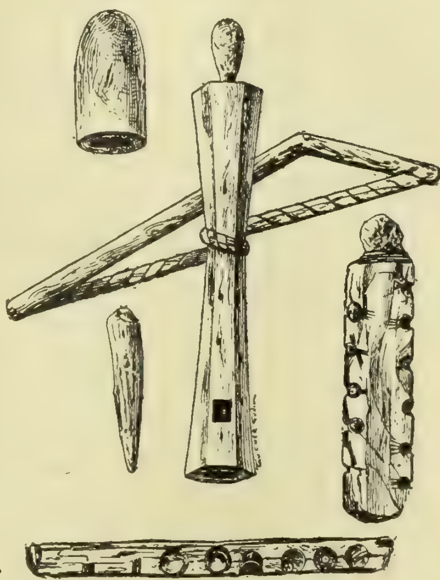


Fig. 5. — Ignitérébrateur des Dacotahs, Indiens de l'Amérique du Nord (d'après J. Lubbock).

L'invention de la poulie est donc née de la nécessité d'augmenter, tantôt la vitesse de l'arbre sans changer celle de la main motrice, tantôt l'effort sur l'arbre sans changer celui de la main motrice; dans chacun de ces deux cas, c'est en *s'inspirant instinctivement du principe du levier* que l'ouvrier a trouvé une solution favorable, par le changement du diamètre de l'arbre, ce qui a conduit à la poulie.

Il est bien entendu que l'invention de la poulie ne dérive pas de celle du levier. mais l'action de la poulie est basée sur le principe du levier.

C'est instinctivement que l'homme a appliqué le principe du levier, non seulement dans l'invention de la poulie, mais encore dans celle, plus ancienne, de la massue, dans son procédé pour cueillir les fruits. En effet, l'homme, à l'imitation du singe, tire sur la branche en agissant de la main près de la base (à l'encastrement, à un nœud de la tige) si la branche est souple; mais, si la branche est grosse et résistante à la flexion, l'homme agit au contraire à l'extrémité libre, au sommet de la branche, et par une plus grande course de la main, augmente son effort (fig. 9).


Fig. 6. — Ignitérébrateur des anciens Egyptiens.

Le perçoir à l'archet de la figure 8 est encore très utilisé de nos jours, pour percer des petits trous, en horlogerie, petite mécanique, menuiserie, etc.

La figure 10 montre ce perçoir, au XVII[e] siècle, ayant une poulie en M, sur laquelle s'enroule l'archet N; au-dessus on voit un perçoir analogue, mais monté sur un bâti, c'est une machine à percer primitive, l'arbre moteur est supporté à ses deux extrémités par des *paliers*.

2. — Le treuil.

On voit aussi, comme précédemment, appliquer le levier pour mouvoir un arbre destiné à transporter les fardeaux soit horizontalement, soit verticalement.

Dans l'évolution du transport horizontal des fardeaux, on constate que le premier procédé employé a été celui de *traîner* sur le sol l'objet à déplacer. Quand le poids du fardeau était élevé, on nivelait au mieux le sol à franchir; si les fardeaux étaient d'un poids plus grand encore, on les plaçait sur une plate-forme pour présenter au frottement une surface unie, glissant sur un sol uni, c'est le *traîneau*.

Puis, toujours dans le but de réduire le frottement, on mit des rou-

leaux sous le traîneau. On voit un exemple de ce procédé de transport horizontal dans un bas-relief du palais de Sennachérib (700 ans av. J.-C.) à Koioundjick (Assyrie).

Le mouvement était alors donné au traîneau à l'aide de grands leviers, dont l'extrémité du petit bras prenait le point d'appui sur le sol, et qui poussaient la plate-forme. C'est le procédé encore en usage chez nos maçons pour le bardage des pierres.

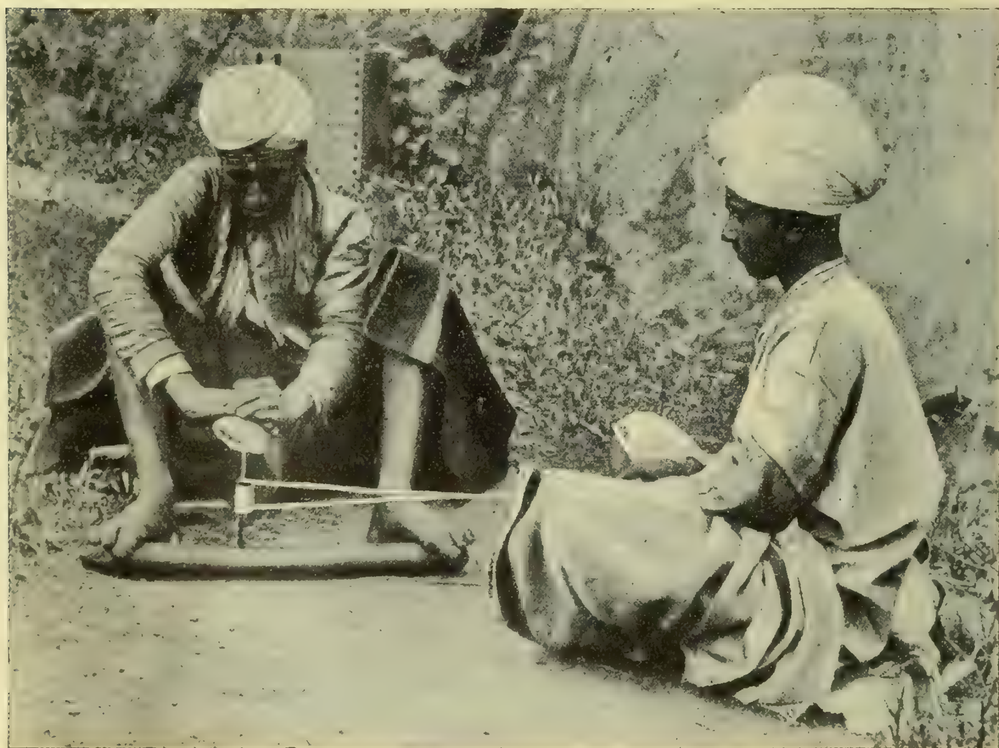


Fig. 7. — Obtention du feu par giration, dans l'Hindoustan.

Mais quand la charge se trouvait mal répartie, soit que le sol fut insuffisamment nivelé ou soit qu'il fut de dureté inégale, un rouleau pouvait alors s'enfoncer dans le sol et l'avancement du traîneau ne plus s'effectuer que par glissement.

Vitruve (Ier siècle av. J.-C.) nous indique la modification apportée pour éviter ce glissement : le rouleau est alors entraîné dans son mouvement circulaire par un levier implanté transversalement à une extrémité.

La figure 11 montre ce procédé de transport de fardeau qui avait été décrit par Vitruve et qui fut appliqué par Perrault pour transporter une architrave de 17 m de longueur, lors de la construction du Louvre.

Dans ce procédé de roulement il faut, après une certaine course partielle du rouleau, retirer le levier de la cavité qu'il occupe alors, pour l'enfoncer dans la cavité suivante; il y a ainsi discontinuité dans le mouvement et même arrêt complet à chacune de ces manœuvres.

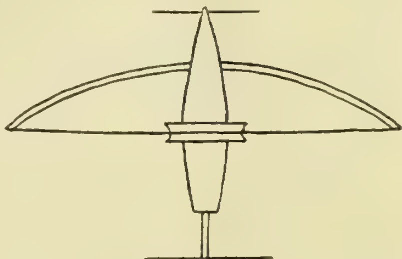


Fig. 8. — Perçoir à archet, avec poulie fixe, des anciens Indiens (d'après le Dr Rau).

Quand, au lieu d'être posé sur le sol, l'arbre à mouvoir est en l'air, deux leviers, traversant en croix l'extrémité de l'arbre, permettent une manœuvre circulaire moins discontinue (fig. 12).

Philon de Byzance, ingénieur grec du IIe siècle avant notre ère, nous montre (fig. 13) un arbre horizontal manœuvré par une série de leviers fixés tout autour d'un collier solidaire de l'arbre; la manœuvre est moins discontinue encore que la précédente, quoique s'effectuant encore par à-coups successifs.



Fig. 9. — Nègre tirant sur une branche pour approcher le fruit à détacher (Encyclopédie, 1760).

Ces arbres horizontaux et sur lesquels s'enroule la corde de traction, et mus à l'aide de leviers, sont ce que nous appelons des *treuils*.

Dans le texte du *Livre des appareils pneumatiques et des machines hydrauliques* de Philon de Byzance, traduit par M. le baron Carra de Vaux, il est expliqué que le tambour est constitué par 10 ou 12 pieux de bois encastrés dans de larges œillets pratiqués dans le collier central. Il est ajouté : « Sachez que plus ces pieux sont longs, plus la manœuvre en est aisée et facile pour celui qui les tourne ».

La figure 14, extraite du *Livre de machines* de Jacques Besson (Lyon, 1578), nous montre une roue analogue à la précédente, faite aussi de 12 rayons implantés à l'extrémité d'un arbre sur lequel s'enroule une corde; c'est un *treuil* effectuant, par la

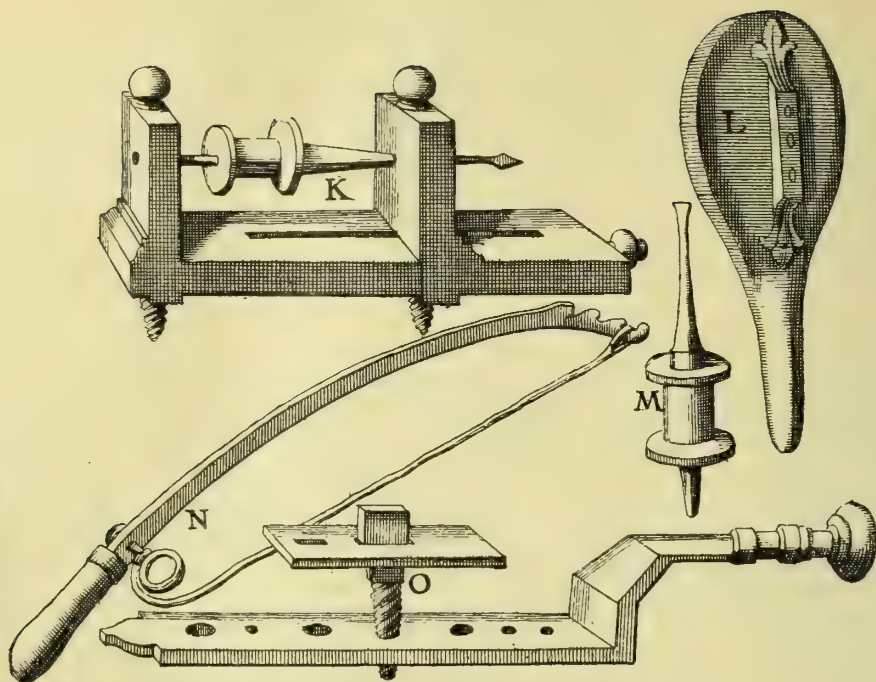


Fig. 10. — Forerie à archet, avec poulie calée sur le porte foret (Principes de l'architecture etc. Félibien, 1676).

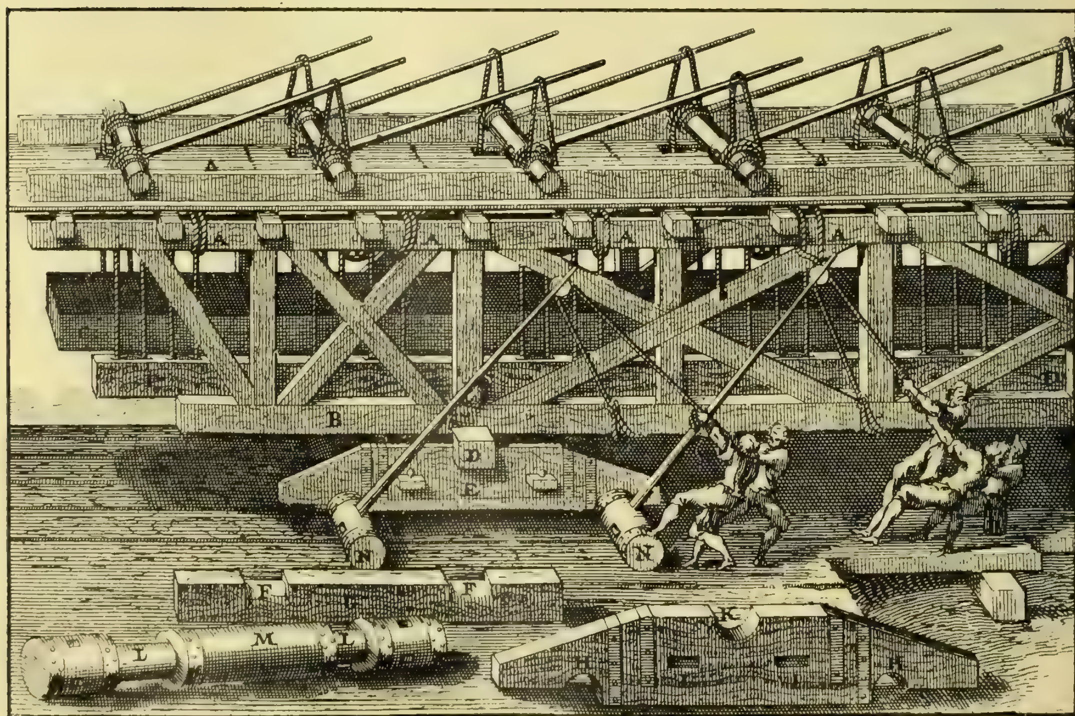


Fig. 11. — Mouvement de translation des fardeaux obtenu par la rotation du rouleau à l'aide de leviers.

traction de la corde enroulée, l'avancement d'une poutre que scie la machine exposée. Cette roue d'avancement est mue par le pied de l'ouvrier.

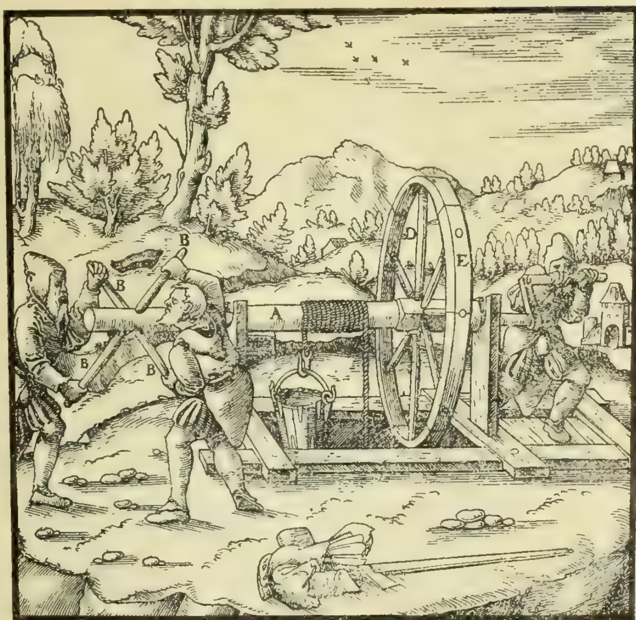


Fig. 12. — Rotation d'un arbre horizontal à l'aide de deux leviers le traversant en croix.

Quand le treuil est manœuvré par une manivelle (fig. 15) c'est le *girgillus* romain; le mouvement est plus continu et subit moins d'à-coups, mais il y a encore une certaine irrégularité de vitesse qui ne disparaît que par l'adjonction du volant.

La figure 16, extraite du manuscrit de Mariano, montre une roue de commande par chaîne sans fin, au milieu du xve siècle.

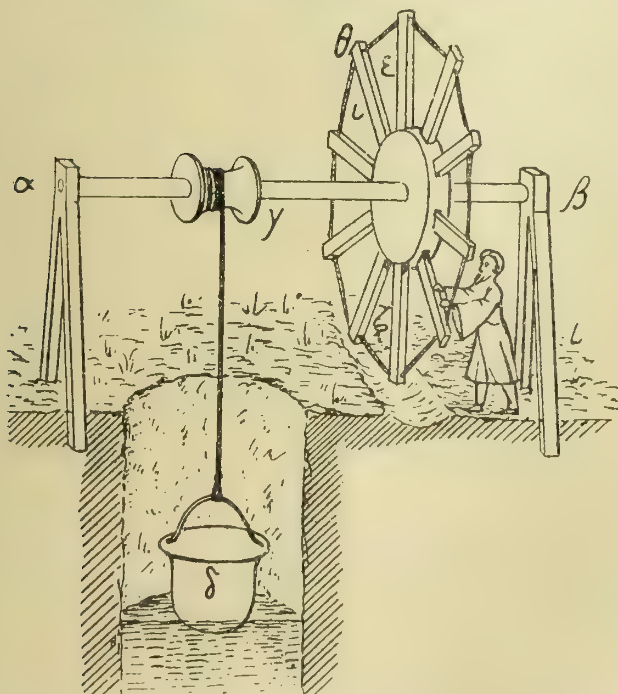


Fig. 13. — Roue de commande d'un treuil (Philon de Byzance).

La figure 17 extraite du *Livre de machines* de Ramelli (Paris, 1588, p. 132) montre un treuil fonctionnant « à l'ayde d'un homme, lequel faisant tourner la rouë par le moyen de la chaisne qui est entortillée à l'entour des fers fourchus qui sont autour de la circonférence d'icelle rouë... ».

Pour atténuer les frottements de l'arbre de ce treuil, ses deux extrémités roulent, chacune sur deux galets.

La figure 18 reproduite aussi d'après Ramelli, montre un treuil à engrenages, dont l'arbre roule sur des galets pour diminuer la résistance au frottement et dont le mouvement est obtenu par l'intermédiaire d'un tympan

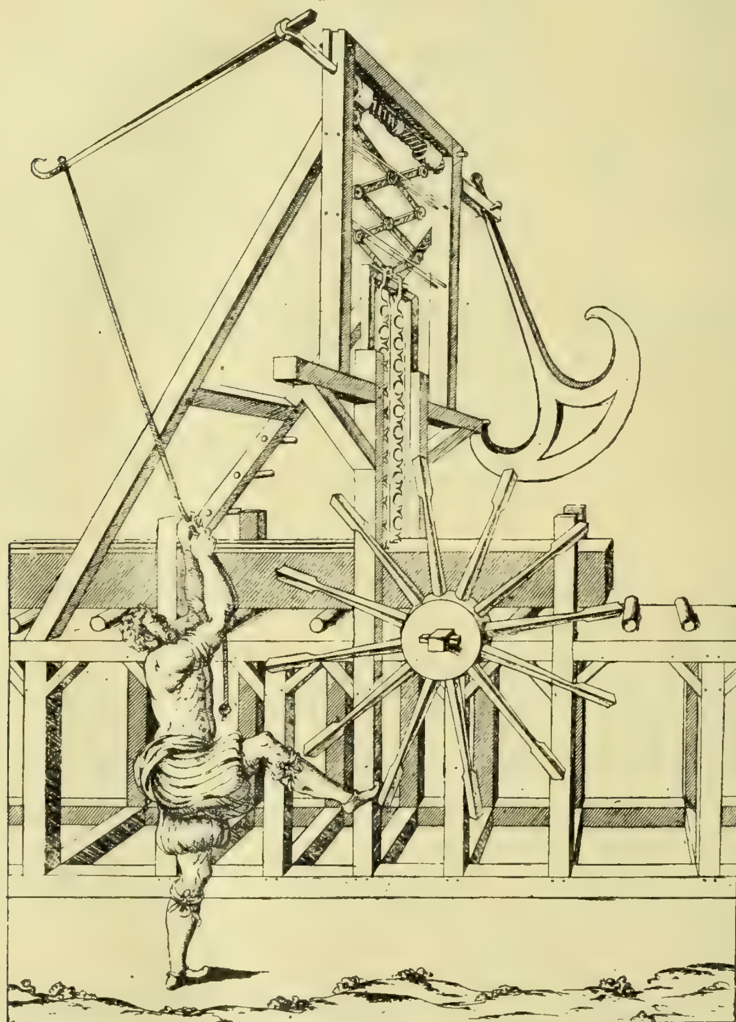


Fig. 14. — Treuil au pied pour l'avancement de la pièce de bois, sur une machine à scier (Jacques Besson, Lyon, 1578).

(appelé aussi roue de carrière parce que des roues analogues et à chevilles sont très employées pour extraire les pierres des carrières).

Ramelli explique, dans son texte, qu'une seule personne cheminant sur la grande roue notée L, la fait tourner....

En fait le treuil est donc une poulie d'une grande largeur, c'est pour cette raison que certains treuils s'appellent *pouliots*.

3. — Le vindas ou cabestan.

Quand l'arbre d'un treuil est vertical, l'appareil s'appelle *vindas* ou

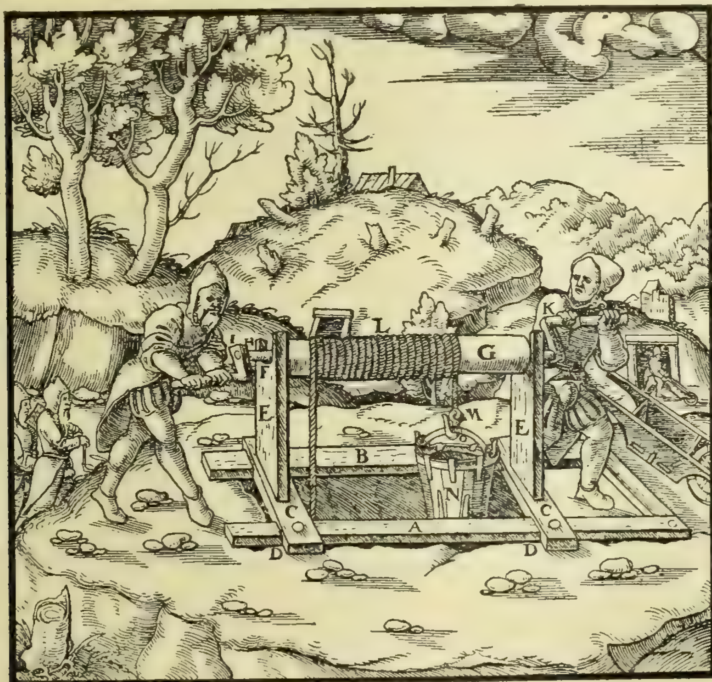


Fig. 15. — Treuil mû par 2 manivelles (Agricola, 1556).

cabestan. Les leviers, fichés en travers de cet arbre, se trouvent alors dans un plan horizontal, ce qui permet de mettre un homme à chaque levier pour le manœuvrer (fig. 19).

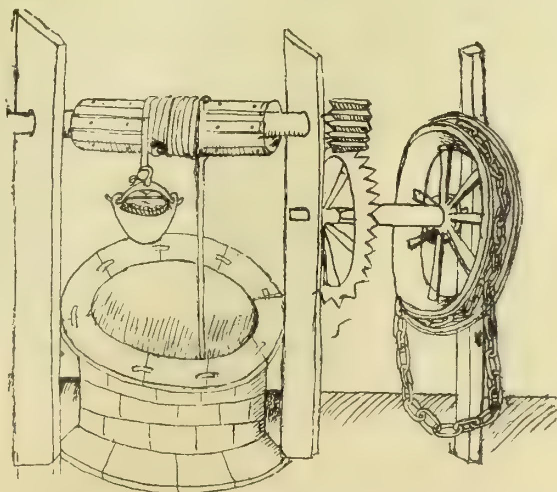


Fig. 16. — Roue de commande par chaîne sans fin (Mariano, 1440).

Pour les travaux de plus grande force plusieurs hommes peuvent même être employés à chacun de ces leviers.

Quand la corde doit avoir une grande longueur d'enroulement, pour en limiter l'encombrement sur l'arbre, on ne fait enrouler qu'un nombre restreint de spires, assez pour créer une résistance suffisante au frotte-

ment; un brin de la corde se déroule alors au fur et à mesure que s'enroule

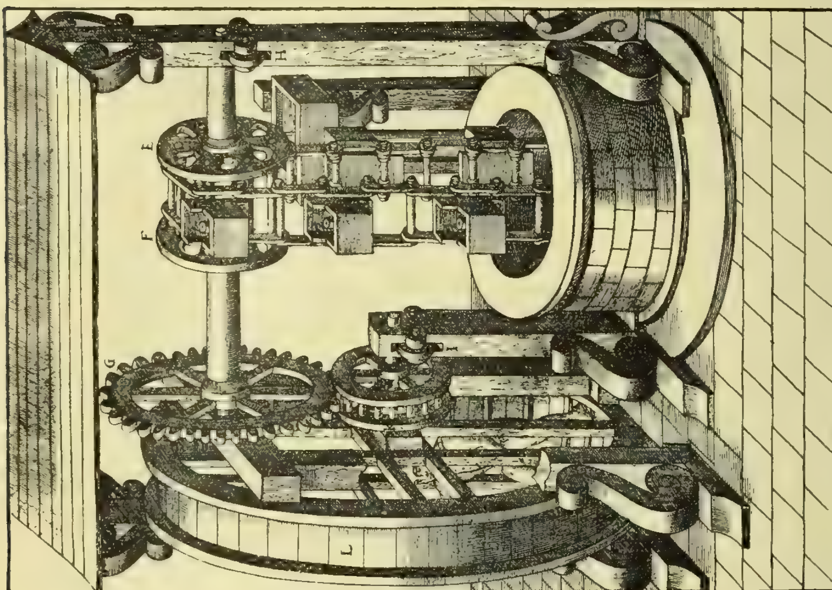


Fig. 18. — Treuil à engrenages mû par un tympan (Ramelli, 1588).

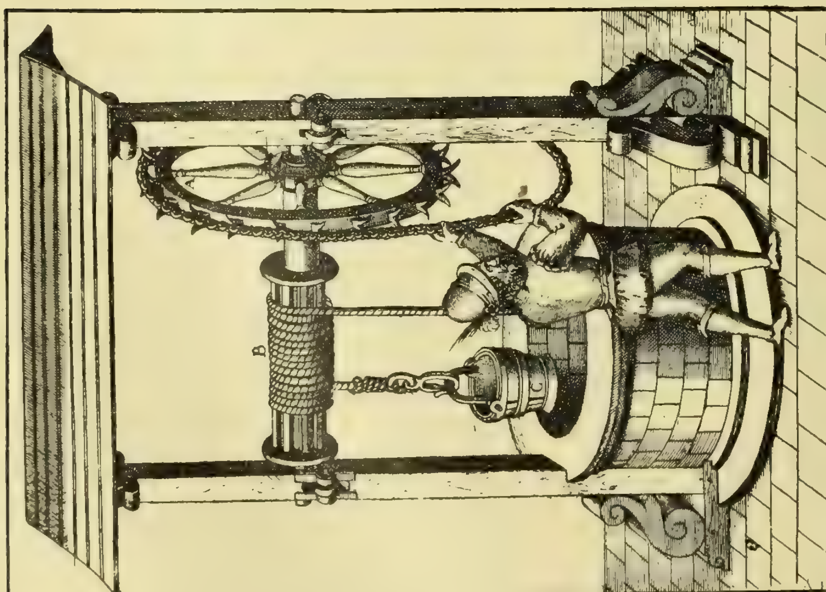


Fig. 17. — Roue de commande par chaîne sans fin (Ramelli, 1588).

l'autre brin; un aide tire sur le brin qui se déroule pour augmenter l'adhérence sur l'arbre.

4. — Le manège.

Le levier horizontal, qui entraîne l'arbre vertical d'un cabestan, peut être disposé pour recevoir l'effort d'un cheval au lieu de celui de l'homme ; on a alors ce qu'on appelle un manège.

La figure 20 représente, au XVI[e] siècle un manège dont l'arbre vertical, la *mèche*, entraîne un treuil de mine.



Fig. 19. — Cabestans (Banduri, 1712).

La figure 21, d'après Salomon de Caus, représente au XVII[e] siècle un manège de 4 chevaux actionnant des treuils de pompes.

Les figures 22 et 23, extraites de l'*Encyclopédie*, représentent dans des ardoisières, au XVIII[e] siècle, deux manèges actionnant l'un un treuil, l'autre un cabestan.

5. — La poulie considérée comme levier.

Nous avons vu que l'invention de la poulie est née du besoin d'augmenter soit la vitesse, soit l'effort d'entraînement d'un arbre et que le résultat désiré

a été obtenu par des variations appropriées du diamètre de cet arbre, au point où s'effectue l'enroulement de la corde motrice.

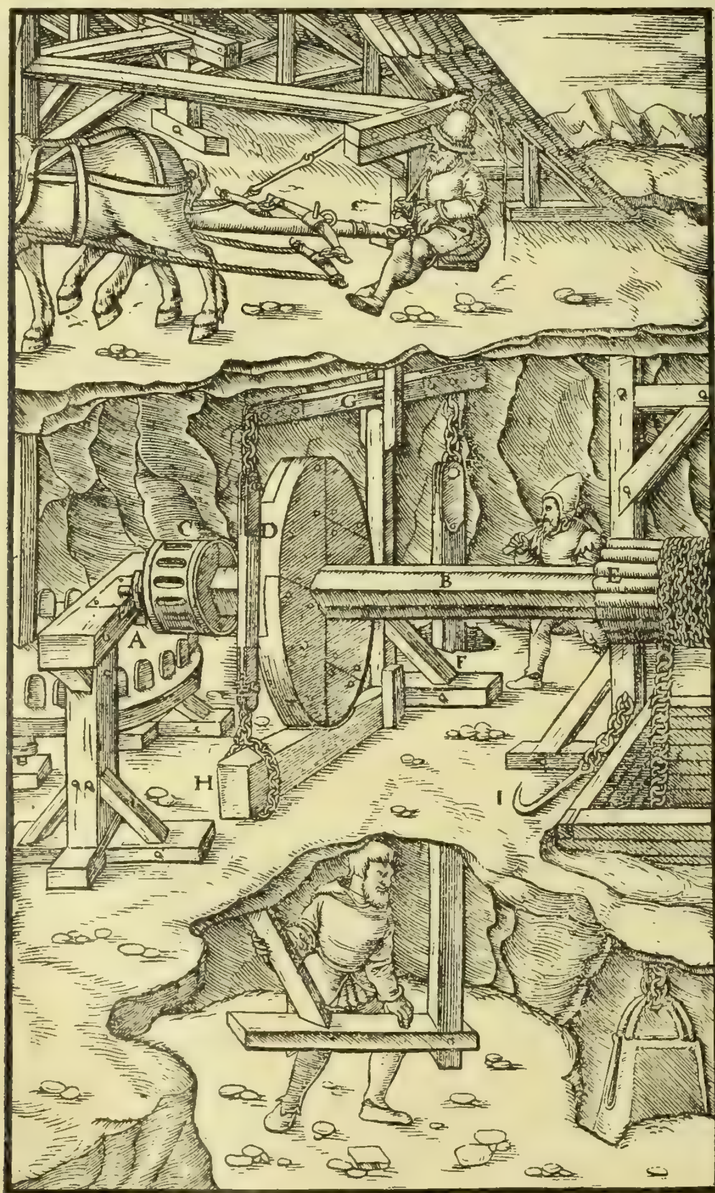


Fig. 20. — Treuil mû par un manège au XVI[e] siècle (Agricola, 1556).

Cette invention de la poulie ne dérive donc pas de celle du levier.

Mais comme nous l'avons dit le mode d'action de la poulie est basé sur le principe du levier.

Nous avons vu en effet qu'un résultat, analogue à celui qu'on obtient avec la poulie, était produit avec plus ou moins de continuité dans le mou-

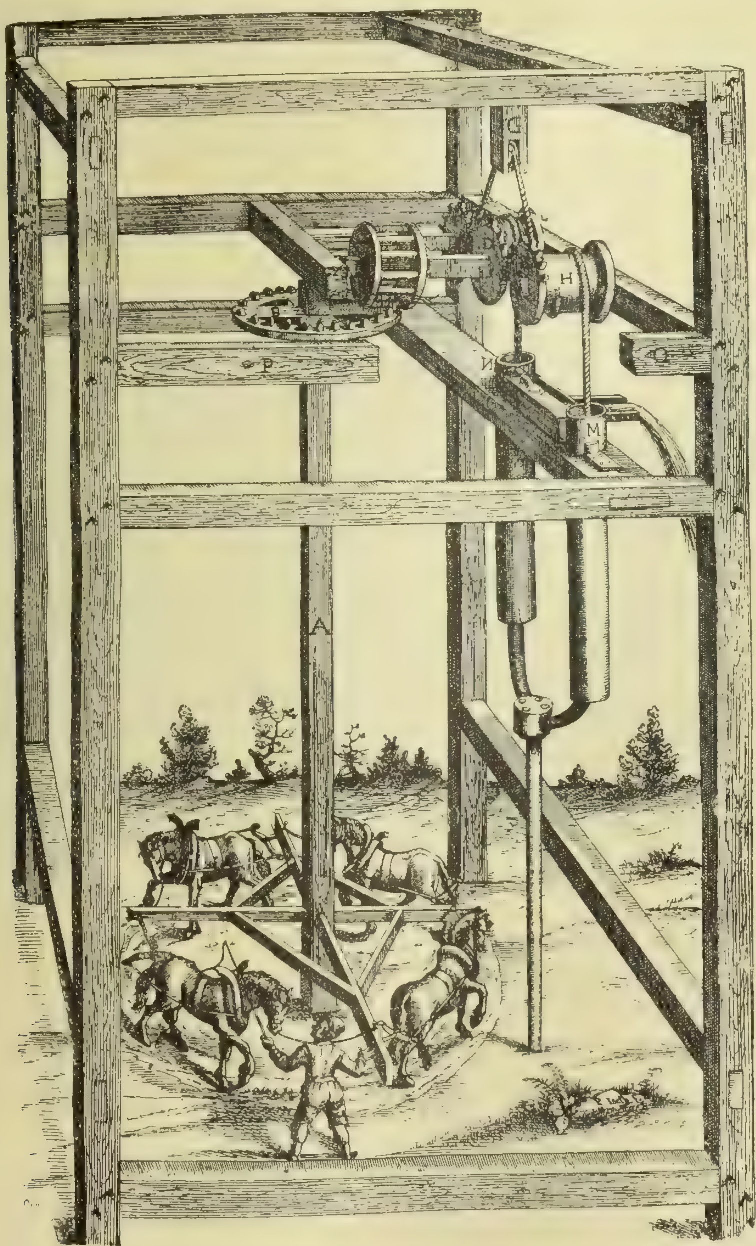


Fig. 21. — Treuil mû par un manège au XVIIe siècle (Salomon de Caus, 1615).

vement, d'abord par un levier mobile implanté transversalement à une extrémité de l'arbre à mouvoir (fig. 11); puis successivement, par plusieurs

leviers fixes (fig. 12, 13, 14, 19), par la manivelle (fig. 15), la roue de commande (fig. 16 et 17), le tympan (fig. 18), le cabestan (fig. 19).

Avec ces divers organes mécaniques le mouvement circulaire d'un arbre à mouvoir est obtenu, avec plus ou moins de régularité, par les *positions successives du levier*, agissant comme la suite continue des rayons d'une poulie.

La poulie peut donc être considérée comme une sorte de lieu géométrique des positions successives d'un levier qui se déplace autour de son axe de rotation.

L'étude de la poulie doit donc être basée sur le principe du levier, levier rigide et levier funiculaire.

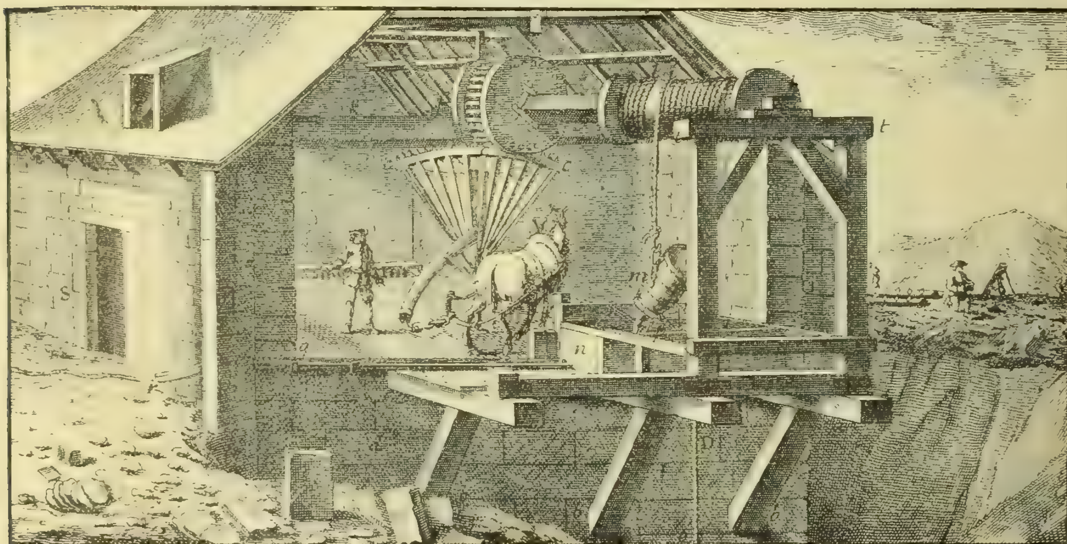


Fig. 22. — Treuil mû par un manège au XVIIIe siècle (Encyclopédie, 1760).

C'est d'ailleurs ainsi que pensait Léonard de Vinci, car dans ses manuscrits on trouve ces notes sur ce sujet (1).

« La corde de plus grande grosseur rend sa poulie plus facile de mouve-
« ment; et il en est ainsi parce que le levier du frottement est plus long du
« centre de la corde grosse au bord du frottement que le (du) centre de la
« corde fine. »

« Si le poids soutenu par la corde posée sur la poulie, on a à calculer le
« levier de la corde qui descend avec le levier de la corde qui s'élève, au
« contact qu'a la corde avec la dite poulie, ou au centre de la grosseur de la
« corde ou à ses extrémités; on a à le calculer au centre de la corde, comme
« il est prouvé (ci-dessus). »

(1) Manuscrit E, folio 33, recto et verso. T. III, publiés par Ch. Ravaisson-Mollien.

6. — Le levier funiculaire.

Le levier funiculaire est constitué par une corde ayant un point d'appui et glissant sous un effort mouvant, antagoniste d'un effort résistant.

Il y a trois genres de leviers funiculaires correspondants aux trois genres du levier rigide.

Les figures 24 à 26 montrent le levier funiculaire du *premier genre*, dans lequel le point d'appui fixe, sur lequel glisse la corde, est situé entre le point

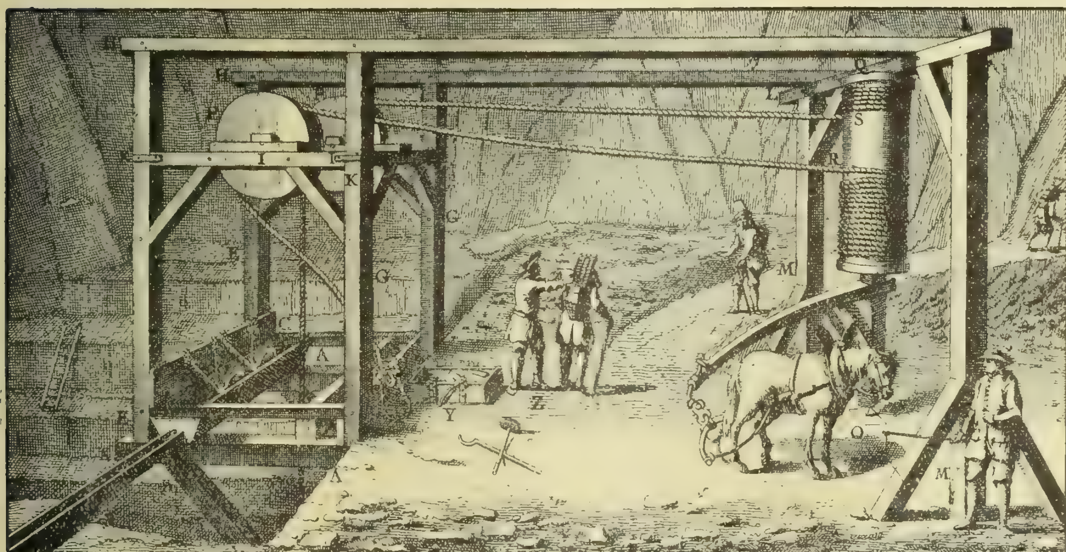


Fig. 23. — Cabestan mû par un manège au XVIIIe siècle (Encyclopédie, 1760).

d'application de la force résistante représentée ici par un poids, et le point d'application de la force mouvante représentée par un peson dynamométrique.

La figure 27 montre le levier funiculaire du *deuxième genre*, dans lequel le point d'application de la force résistante (le poids) est situé entre le point fixe d'appui (la branche) et le point d'application de la force mouvante (le peson).

La figure 28 représente le levier funiculaire du *troisième genre*, dans lequel le point d'application de la force mouvante (le peson) est situé entre le point d'appui fixe (la branche) et le point d'application de la force résistante (le poids).

Le fonctionnement de ces leviers funiculaires s'effectue par le *glissement d'une corde*, il y a de ce fait une diminution de l'effort mouvant puisqu'une partie importante est employée en pure perte pour vaincre les frottements

excessifs; le mauvais rendement, qui est la conséquence de ce mode d'action, restreint l'usage du levier funiculaire.

La figure 29 montre, à titre d'exemple, l'emploi du levier funiculaire,



Fig. 24-25-26. — Levier funiculaire du premier genre.

par des Esquimaux amenant à terre un morse tué. Ils se servent d'une corde glissant sur deux pieux fixes comme points d'appui et passant sur le ventre de l'animal sous deux bandes de peau découpées en lanières.

Cette figure est extraite d'un livre de M. Otis Mason : *The Origins of Invention* (Londres, 1895; p. 158).

L'auteur indique Elliot pour la source du document, mais sans en donner la référence, je n'ai donc pas pu en contrôler l'origine ni faire le départ des hypothèses émises. Il est en effet tracé, en haut et à gauche de la figure, le schéma de la disposition des cordes, d'après une interprétation erronée, ainsi que nous le verrons plus loin.

7. — La résistance au frottement des cordes.

Pour évaluer l'importance des frottements résultant du glissement des cordes pendant le fonctionnement de ces leviers funiculaires, j'ai effectué quelques expériences en me servant d'abord d'une cordelette de 4 mm de diamètre, glissant tantôt sur un bâton, tantôt sur un cylindre de fer, ayant chacun le même diamètre de 25 mm. Le bâtonnet étant assez lisse j'ai obtenu dans ces premières expériences des résultats à peu près équivalents pour la résistance au frottement de cette cordelette sur le fer et sur le bois, toutes autres choses égales.

Ces premières expériences avaient pour but de déterminer, pour un poids donné suspendu à l'extrémité de la corde entourant la moitié supérieure du bâton (levier funiculaire du 1er genre) (fig. 30) quel poids il fallait mettre à l'autre extrémité de la corde pour entraîner le premier poids.



Fig. 27. — Levier funiculaire du deuxième genre.



Fig. 28. — Levier funiculaire du troisième genre.

On voit sur cette figure que le poids de 500 g n'est pas entraîné par le poids double de 1 kg; le frottement occasionne donc, dans cet essai, une résistance de plus de 500 g.

En chargeant graduellement j'ai obtenu la rupture d'équilibre avec un poids de 1 100 g et la corde a alors glissé rapidement, ce qui indique que la résistance est moindre en marche qu'au démarrage; c'est d'ailleurs ce que j'ai constaté d'une manière générale dans tous ces essais.

J'ai répété cette expérience en mettant successivement des charges croissantes, d'abord de 100 g, puis 200, et ainsi de suite en augmentant de 100 g jusqu'à 1 kg et j'ai constaté que la charge nécessaire pour rompre l'équilibre et entraîner le poids résistant était de 2,2 fois environ la valeur de celui-ci.

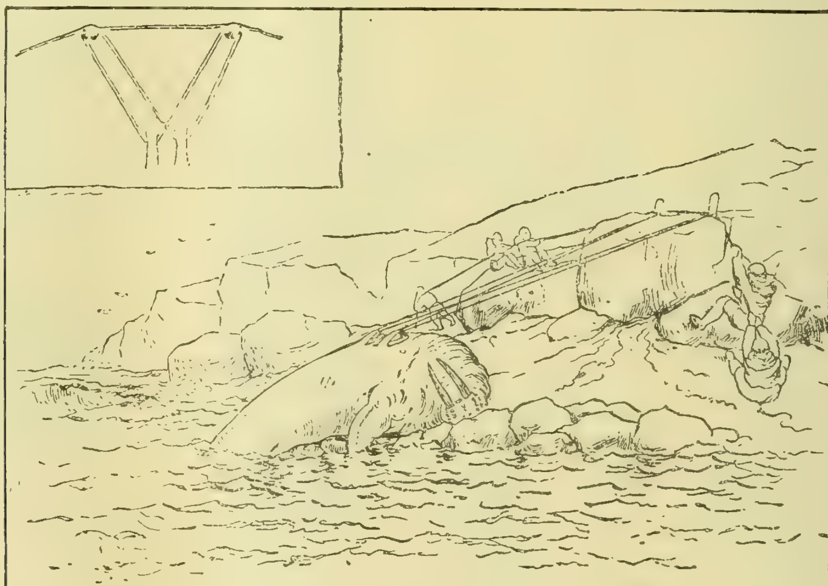


Fig. 29. — Levier funiculaire du deuxième genre utilisé par les Esquimaux.

La résistance au frottement a donc été, dans ces expériences statiques, de 1,2 fois le poids à soulever.

Des essais effectués au peson dynamométrique (fig. 24 à 26) m'ont permis d'évaluer l'effort d'entraînement en marche.

La corde a été enroulée sur le cylindre d'abord d'un quart de tour (fig. 24), puis d'un demi-tour (fig. 25), ensuite de trois quarts de tour et enfin d'un tour complet.

J'ai constaté que l'effort de traction est sensiblement plus élevé au démarrage qu'en marche, comme dans les essais statiques précédents; j'ai constaté en outre que dans certains cas l'adhérence était augmentée sensiblement et qu'il fallait alors, pour obtenir l'entraînement, exercer un effort sensiblement plus élevé que l'effort moyen : le coefficient de frottement varie donc avec certaines positions ou dispositions de la corde employée.

La figure 31 représente un graphique réunissant les résultats des essais de résistance au frottement d'une corde de 10 mm de diamètre, enroulée successivement de un quart de tour, un demi-tour, trois quarts de tour et enfin d'un tour complet, sur un cylindre en cuivre de 112 mm de diamètre et glissant tantôt sous les efforts nécessaires pour soulever des poids croissants de 1 à 15 kg suspendus à l'extrémité de la corde, tantôt sous le poids suspendu, la main soutenant l'effort juste pour ralentir la chute. En ordonnées sont les résistances au frottement et en abscisses les poids de 1 à 15 kg, opérant la tension de la corde.

J'ai dû répéter un certain nombre de fois chaque expérience pour déterminer une sorte de moyenne de chaque effort, les efforts indiqués par le peson variant chaque fois dans certaines limites, comme il a été dit. Les essais ont été effectués d'abord en tirant sur la corde pour soulever le poids tenseur et ensuite en lâchant graduellement pour soutenir le poids tenseur dans sa descente et limiter sa vitesse de chute.

Ces résultats confirment ce qui est bien connu, à savoir que pour un même poids suspendu, ou pour un effort donné, la résistance au frottement de la corde enroulée augmente rapidement avec l'angle d'enroulement. C'est pourquoi la corde enroulée sur un cylindre est bien plus souvent utilisée comme frein pour absorber une quantité de travail que pour la transmettre utilement comme levier funiculaire. On sait aussi que le diamètre du cylindre fixe sur lequel glisse la corde est sans influence sur l'importance de la résistance au frottement.



Fig. 30. — Équilibre statique de deux poids différents sur un levier funiculaire du premier genre.

L'indifférence du diamètre du cylindre et l'influence de l'angle d'enroulement s'expliquent facilement par les deux lois du frottement données par Coulomb.

Dans ses expériences Coulomb a constaté que le frottement est, dans tous les cas, à peu près proportionnel aux pressions et indépendant de l'étendue des surfaces en contact.

Avant de voir ce qui se passe lors du frottement de la corde, remarquons que, une corde étant fixée à une de ses extrémités et suspendant un poids, elle prend la position verticale du fil à plomb; si à l'aide d'un peson dynamométrique on l'écarte de cette position (fig. 32) elle prend alors la forme de

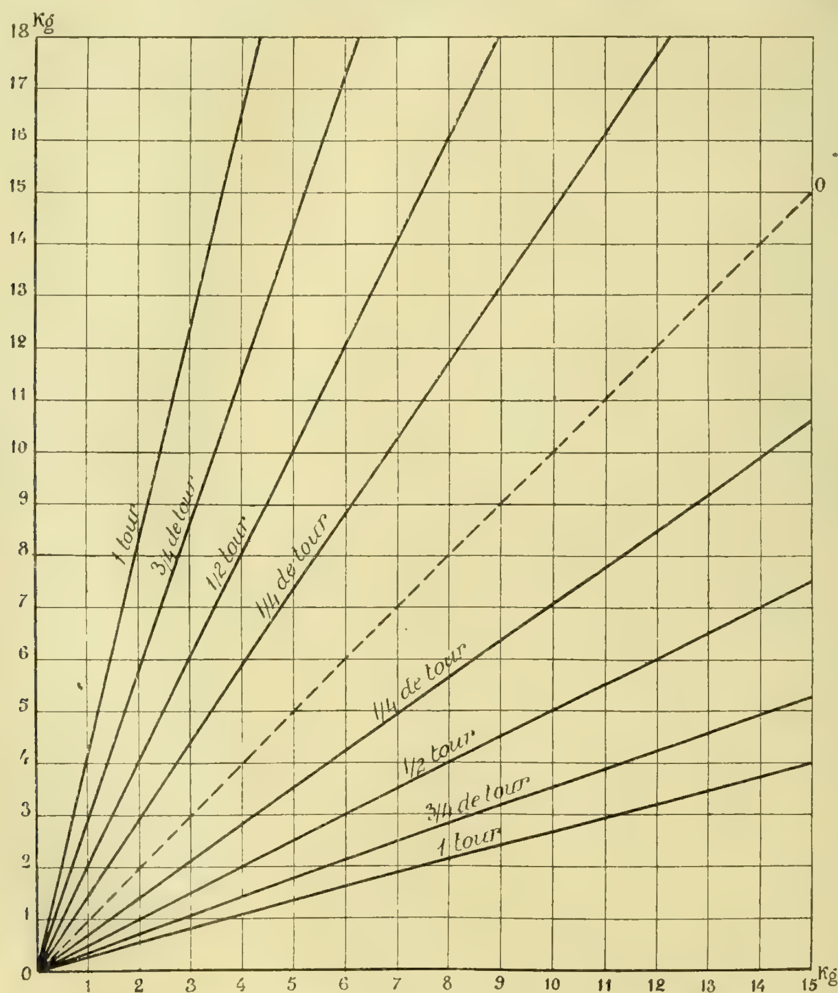


Fig. 31. — Graphique de la résistance au frottement d'une corde de 10 mm de diamètre.
En abscisses : le poids suspendu.
En ordonnées : 1° l'effort pour tirer le poids; 2° l'effort pour soutenir le poids en lâchant pour un enroulement de 1/4, 1/2, 3/4 et 1 tour, sur cylindre de cuivre de 112 mm.

la ligne brisée et le dynamomètre indique que *l'effort de traction augmente graduellement avec l'écartement* de la position verticale primitive.

Si, à la place du crochet du peson dynamométrique nous mettons un cylindre fixe O (fig. 33), pour un même poids en P, la corde appuiera sur ce cylindre d'autant plus que le brin oblique sera plus incliné par rapport à la

verticale. La résistance au frottement de glissement de la corde sur ce cylindre, augmentant avec la pression supportée ainsi que Coulomb l'a montré, augmentera donc avec cette inclinaison du brin oblique, c'est-à-dire avec l'angle d'enroulement.

Ainsi sur la figure 33 le cylindre O porte la corde TP dont le brin T est

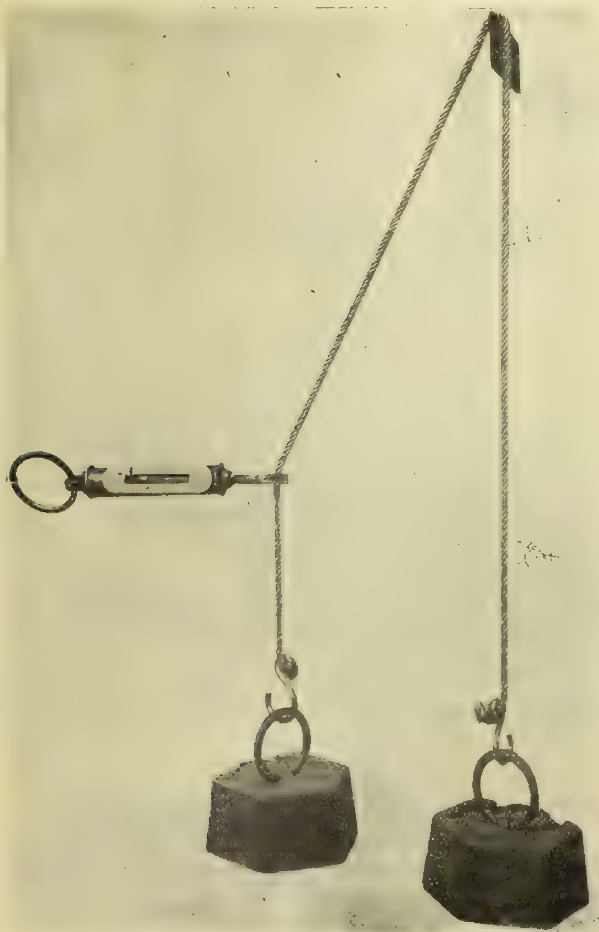


Fig. 32. — Corde suspendant un poids, écartée de la verticale par une force graduée.

oblique et le brin P, qui supporte le poids, est vertical, l'angle d'enroulement de la corde est AOB.

Quand l'angle d'enroulement est fixe, les variations du diamètre du cylindre, sur lequel est enroulée la corde, sont sans influence sur la résistance au frottement de glissement.

Ainsi, si pour une même inclinaison du brin T (fig. 34) la corde s'enroule

soit sur un cylindre O, soit sur un cylindre plus gros O′, le frottement s'effectuera, dans le premier cas suivant l'arc AB, et suivant l'arc A′B′ dans le second cas.

Ces deux angles d'enroulement AOB et A′O′B′ sont égaux.

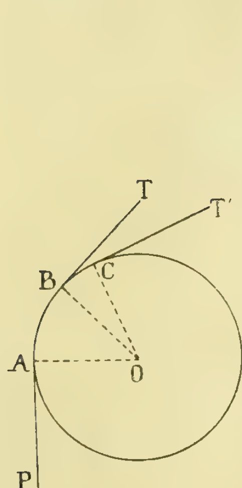


Fig. 33. — Variation du frottement avec l'angle d'enroulement.

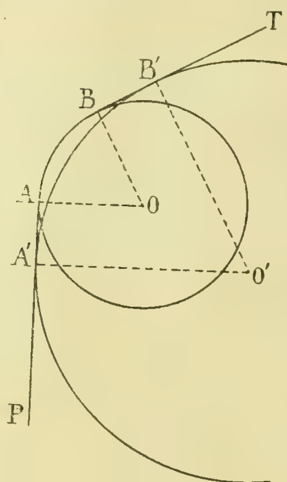


Fig. 34. — Le frottement est indépendant du diamètre du cylindre d'enroulement.

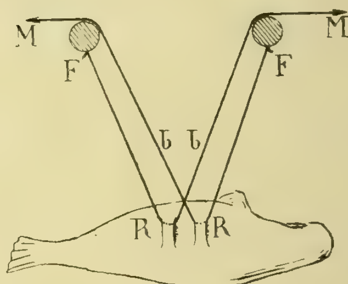


Fig. 35. — Schéma montrant la rectification qu'il faut apporter au tracé du levier funiculaire du deuxième genre représenté figure 29.

La charge d'appui reste la même dans les deux cas, puisque les deux brins T et P n'ont pas varié de position; la résistance au frottement de glissement sera la même dans les deux cas considérés puisque la charge supportée est la même, que seule la surface de frottement a varié et, que d'après

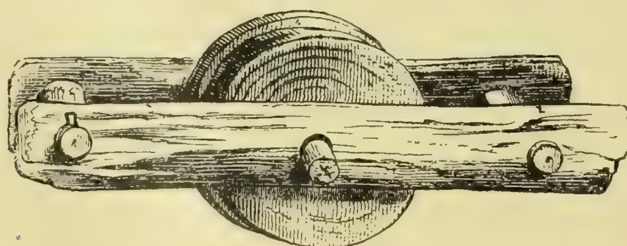


Fig. 36. — Poulie de puits de l'ancienne Égypte.

les lois de Coulomb, la variation de la surface est sans influence sur la résistance au frottement. Ce qui est d'ailleurs conforme à la formule usuelle : $T = te^{f\alpha}$.

C'est cette augmentation rapide de la résistance au frottement de la corde avec l'angle d'enroulement qui empêche d'admettre l'interprétation donnée

(fig. 29) au procédé de traction des Esquimaux pour l'atterrisage du morse tué. D'après le croquis schématique joint à cette figure, l'enroulement de la corde serait au total de *deux tours morts*; or il en résulterait un tel freinage que le rendement des efforts de traction sur cette corde serait presque nul, l'hypothèse ainsi exposée est donc erronée.

A mon avis, l'opération du halage représentée sur la figure 29 comporte l'emploi de deux cordes distinctes ayant chacune une de leurs extrémités



Fig. 37. — Installation primitive de poulies de puits, en Tunisie.

amarrée à un pieu différent, l'autre extrémité de chaque corde étant tirée par un groupe d'Esquimaux, après le passage de cette corde sous une bande de peau et son enroulement d'un quart de tour sur l'autre pieu, ainsi que le montre le croquis schématique (fig. 35).

Les deux cordes sont indépendantes, chacune constitue un levier funiculaire du deuxième genre combiné avec un frein par frottement de la corde sur le pieu. Cette disposition ne rappelle pas le principe du palan qui consiste à faire agir un levier funiculaire sur un autre levier funiculaire.

Au point de vue pratique un meilleur rendement de l'effort produit sur la corde par ces haleurs serait obtenu en tirant directement sur le brin *b* (fig. 35) après le passage sous le lambeau de peau, par conséquent sans

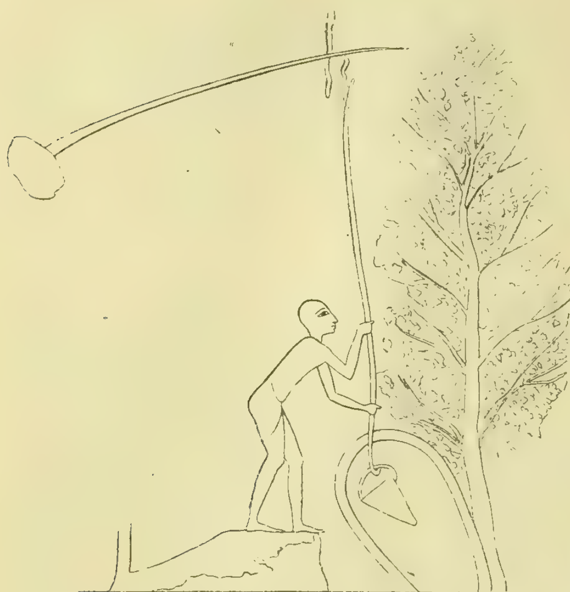


Fig. 38. — Chadouf, seau à bascule pour l'arrosage des jardins dans l'ancienne Egypte.

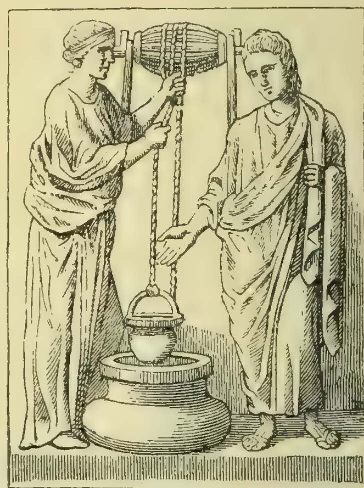


Fig. 39. — Bas-relief d'un sarcophage des Catacombes de Rome, montrant l'installation d'un puits dans l'antiquité.



Fig. 40. — Poulie de renvoi maintenant la corde de traction de pontons pour le passage d'un fleuve (Mariano, 1440).

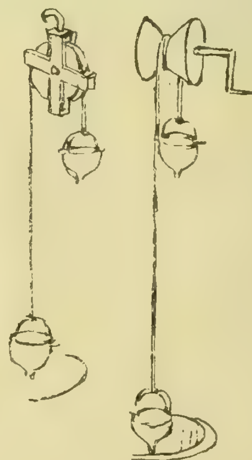


Fig. 41-42. — Poulies de puits de types différents d'après Léonard de Vinci (vers 1500).

enroulement sur le pieu; ce serait, seule, l'application du levier funiculaire du deuxième genre, doublant l'effort des haleurs, mais avec une course

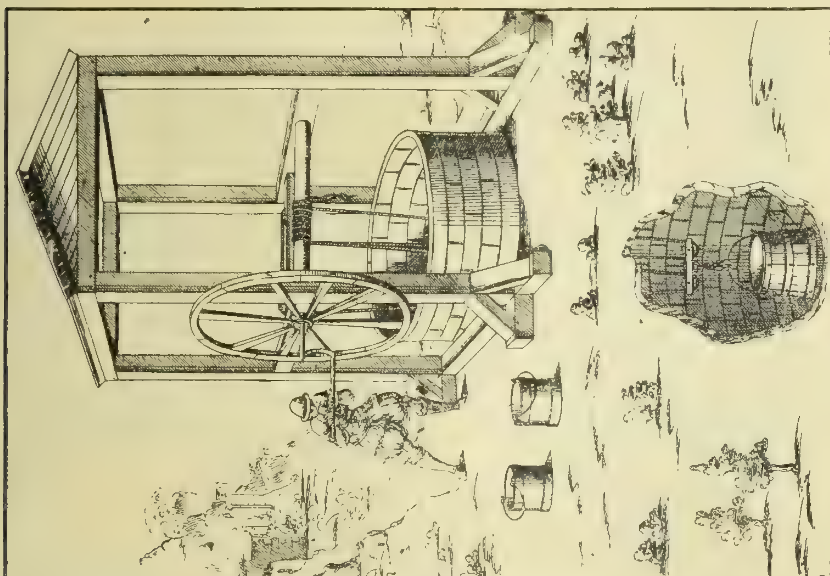


Fig. 44. — Poulie mobile appliquée à un levier funiculaire du deuxième genre (Jacques Besson, Lyon, 1578).

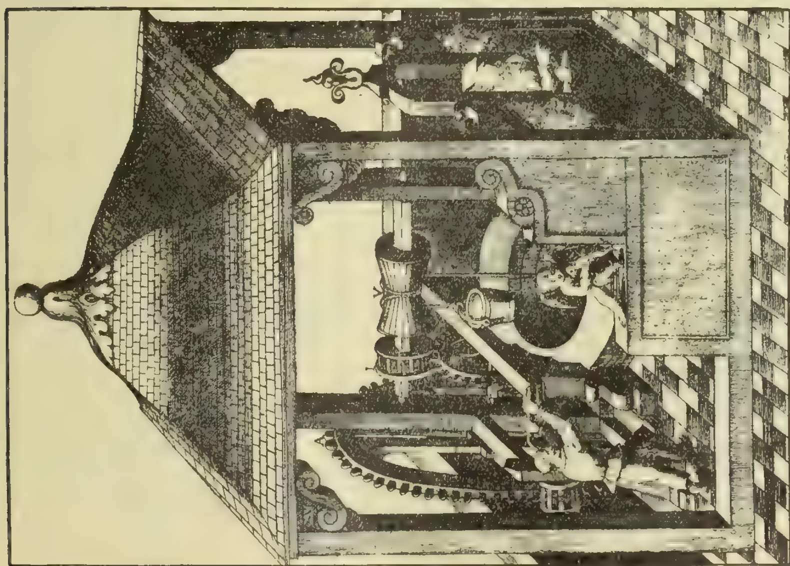


Fig. 43. — Poulie de puits de forme bi-conique (Ramelli, 1588).

double de celle du morse. Si les Esquimaux ont préféré ajouter le frottement résultant d'un quart de tour d'enroulement de la corde sur le pieu, c'est probablement pour disposer d'un freinage en vue de résister à des efforts

antagonistes provenant des vagues; celles-ci tendent, dans leur venue, à soulever le morse, puis, dans leur retour à l'entraîner vers la mer.

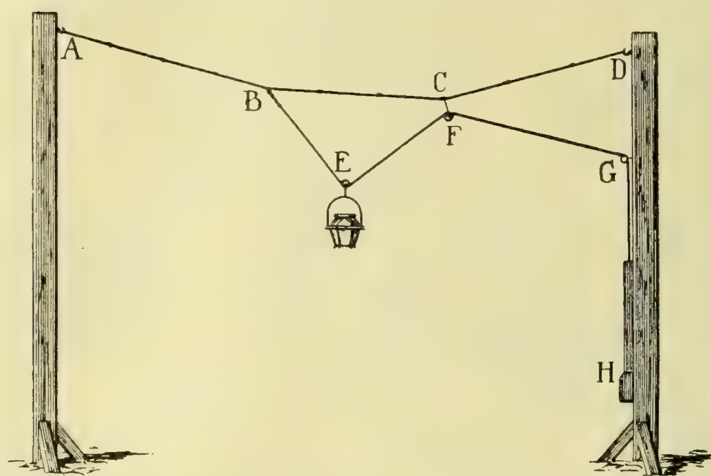


Fig. 45. — Suspension d'une lanterne à huile par un levier funiculaire du deuxième genre.

8. — Le levier funiculaire avec poulie.

Nous avons vu que la résistance excessive produite par le frottement de

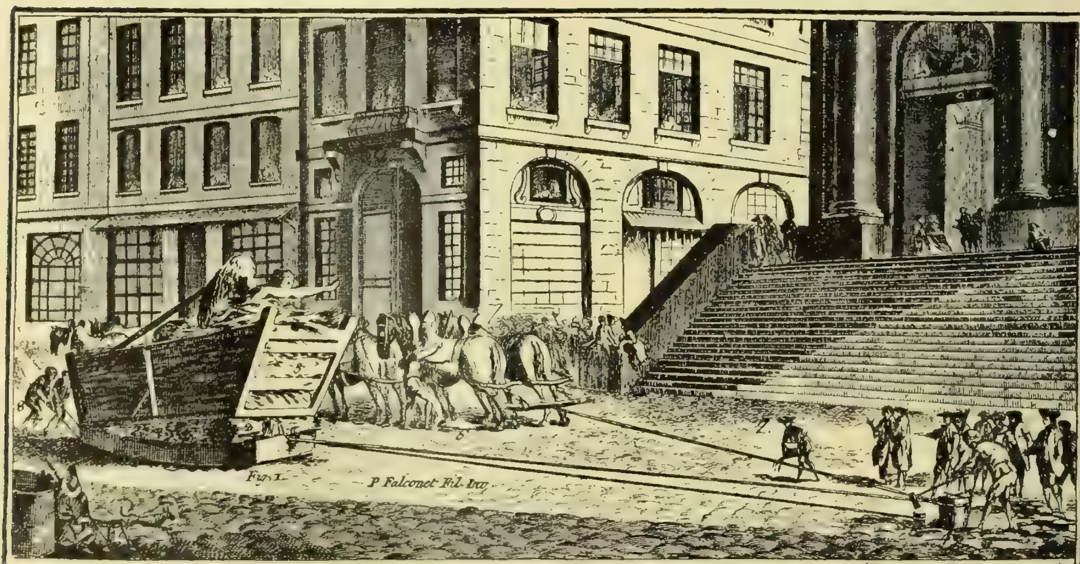
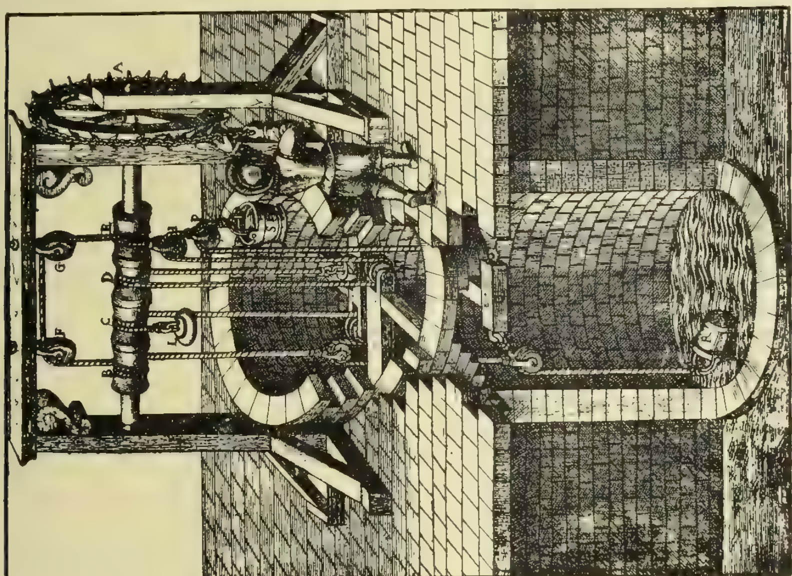


Fig. 46. — Halage d'un traîneau par levier funiculaire du deuxième genre, semblable à celui des Esquimaux (figures 29 et 35).

glissement de la corde réduisait au freinage l'usage presque exclusif du levier funiculaire.

Mais en adaptant la *poulie* au levier funiculaire, on remplace le frottement de glissement par un frottement de roulement, on a alors un meilleur



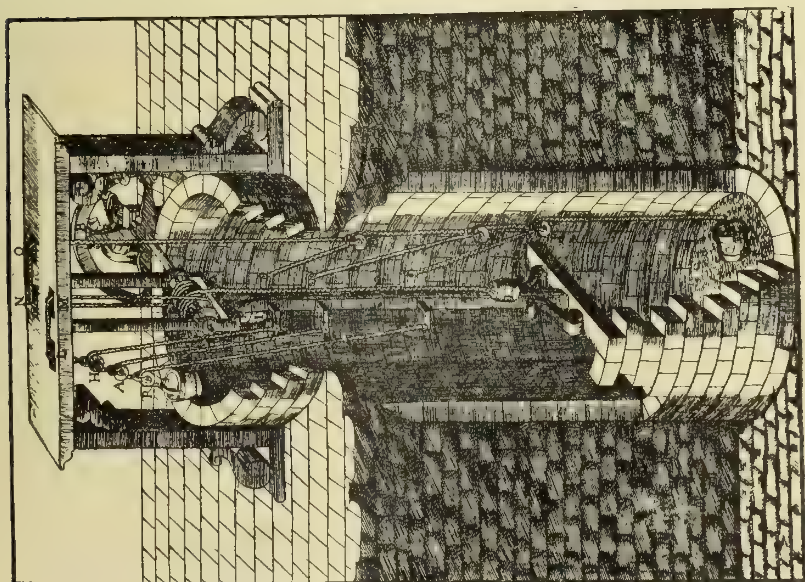


Fig. 47 et 48. — Application de la poulie au levier funiculaire du troisième genre (Ramelli, 1588).

rendement, ce qui permet dans certains cas l'emploi économique du levier uniculaire.

Nous avons vu, au début de cette étude, la poulie employée comme

levier pour, selon le besoin, augmenter ou diminuer, tantôt l'effort sur un arbre, tantôt la vitesse de cet arbre.

Nous voyons maintenant la poulie utilisée pour réduire la perte de travail résultant du frottement de glissement de la corde du levier funiculaire.

La poulie se compose de trois parties : le *rouet*, partie cylindrique qui tourne en contact avec la corde; la *chape* qui, par un *axe*, supporte le rouet; cet axe peut être mobile à la fois dans la chape et dans le rouet, ou seulement soit dans le rouet, soit dans la chape.

Cette poulie est un levier du deuxième genre puisque le point d'application de la force résistante est à la périphérie de l'axe par conséquent situé

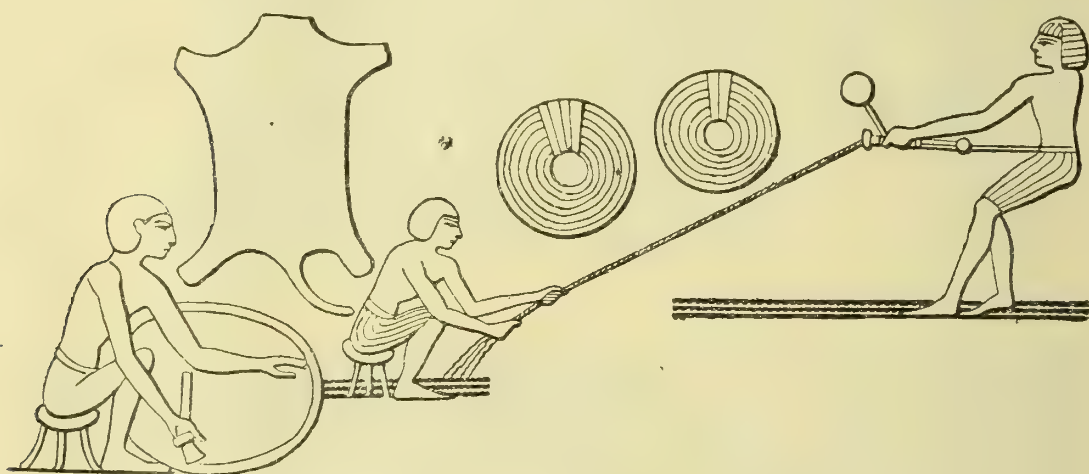


Fig. 49. — Fabrication des courroies en cuir dans l'ancienne Egypte.

entre le point d'application de la force mouvante, à la périphérie du rouet, et le point fixe au centre de l'axe.

A une course de la force mouvante donnée par la corde correspond une course à la périphérie de l'axe en raison inverse des deux rayons de l'axe et de la poulie. Dans le fonctionnement par roulement de la poulie le travail absorbé par le frottement de l'axe est donc, pour une course donnée de la force mouvante, en raison inverse des deux rayons celui de l'axe et celui de la poulie.

La figure 36, reproduite d'après Wilkinson (1), représente une poulie trouvée en Égypte, d'une époque inconnue, et ayant été vraisemblablement utilisée pour tirer l'eau d'un puits. Les deux flasques sont en bois d'Athul ou Tamaris, le rouet en sapin et la corde de leef ou fibres de dattier.

Cette poulie égyptienne était probablement fixée comme on le voit encore

(1) *The Manners and Customs of the ancient Egyptians* (T. II, p. 225).

dans certaines installations primitives, telles que celle de Tunisie que représente la figure 37 extraite des « Colonies françaises ».

Les anciens Égyptiens, pour tirer l'eau d'une citerne, se servaient du *chadouf*, seau à bascule dont on voit le fonctionnement sur la figure 38, reproduction d'une peinture des hypogées de Kourna et datant de la XIIe dynastie (2 300 ans av. J.-C.). Mais la longueur pratique de la perche du chadouf est limitée et insuffisante pour permettre d'extraire l'eau d'un puits

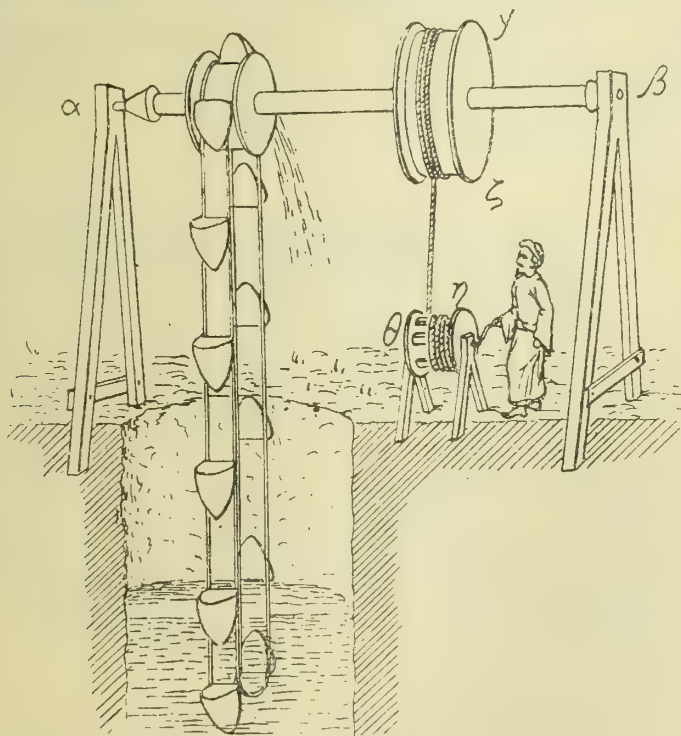


Fig. 50. — Poulie de commande à mouvement discontinu actionnant une noria (Philon de Byzance, 2 siècles av. J.-C.).

un peu profond; l'Égyptien fut alors obligé, dans ce cas, de délaisser cette perche et de hisser le seau par la traction d'une corde glissant sur un support, levier funiculaire du premier genre, figure 24.

Il est probable que, pour diminuer le frottement, l'ancien Égyptien tirait horizontalement la corde, ce qui réduisait à un quart de tour l'angle d'enroulement de la corde et ce qui permettait en outre d'employer la force des animaux marchant horizontalement.

Avec ce levier funiculaire du premier genre, qu'il y ait glissement de la corde ou enroulement de la poulie, la course du seau est égale à celle que parcourt la main motrice et la force mouvante est égale à la force résistante, plus

celle qui est nécessaire pour vaincre les frottements au démarrage et en marche.

La figure 39 est un bas-relief d'un sarcophage provenant des Catacombes

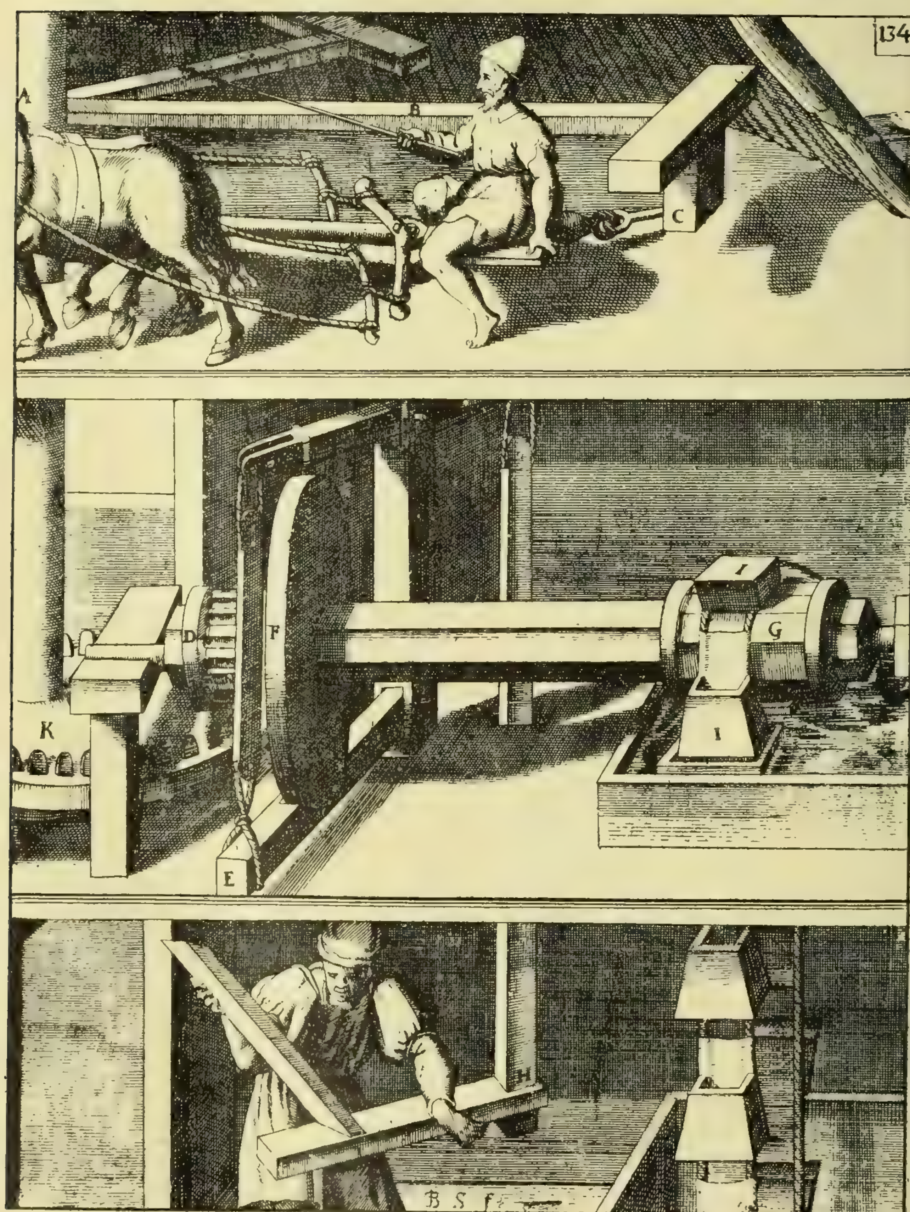


Fig. 51. — Frein empêchant le retour en arrière de l'arbre d'une noria (Bockléri, 1662).

de Rome et représentant « la Samaritaine près d'un puits semblable à un « vase rétréci vers son orifice et, sur deux supports verticaux, une poulie en « forme de *quenouille*, forme, selon toute apparence usitée dans l'antiquité

« car elle se retrouve ainsi que les autres détails du sujet sur d'autres sarco-
« phages et fresques » (1).

Cette forme ovoïde du rouet n'est pas favorable parce qu'elle tend à faire glisser latéralement la corde qui porte les seaux.

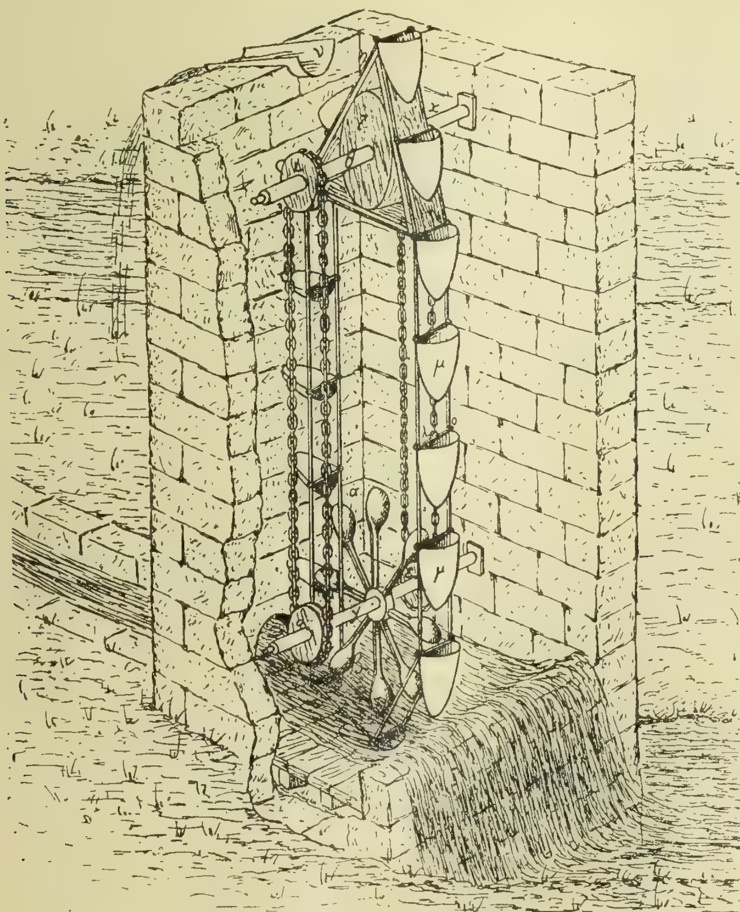


Fig. 52. — Roue hydraulique actionnant une noria à l'aide de poulies et de chaînes de transmission (Philon de Byzance, 2 siècles av. J.-C.).

La figure 40 extraite du manuscrit de Mariano (1441) montre la poulie de renvoi à gorge.

La figure 41, reproduction d'un croquis de Léonard de Vinci, montre une poulie bi-conique qui, elle, tend au contraire à ramener la corde au milieu. Sur ce croquis la poulie est entraînée par une manivelle, l'ensemble constitue le treuil, le *girgillus* romain.

(1) *Dictionnaire des Antiquités* de M. l'abbé MARTIGNY.

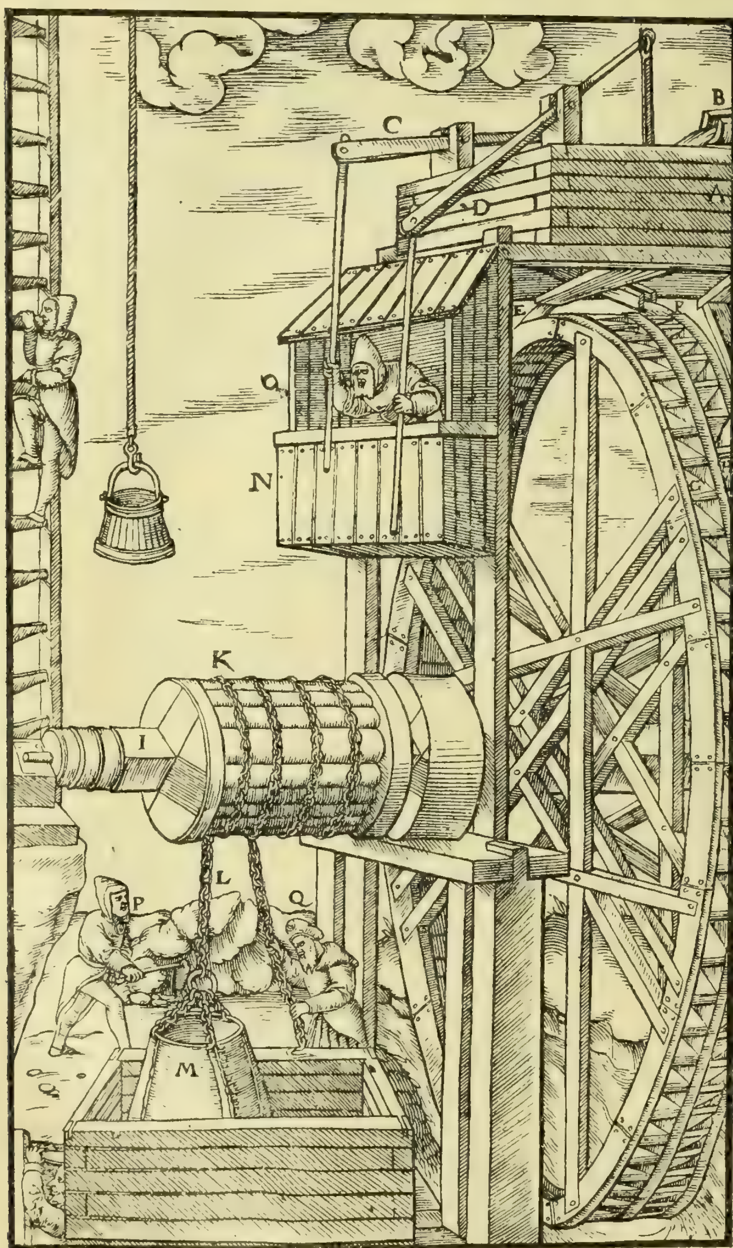


Fig. 53. — Chaine enroulée de plusieurs tours, sur l'arbre d'un treuil, pour augmenter l'adhérence (Agricola, 1556).

La figure 42 est un autre croquis, voisin du précédent, qui représente la poulie de puits actuelle et le seau à pointe, le *situla*.

La figure 43, d'après Ramelli (1588), montre la poulie bi-conique, mais l'artiste a commis une erreur en faisant sortir, du même côté du treuil, les deux brins de la corde.

La figure 44, d'après Jacques Besson (1578), montre un puits dont la *poulie mobile* est appliquée au levier funiculaire du deuxième genre (fig. 27); la légende de la planche dit : « Nouvelle invention non à mespriser par « laquelle d'un puis bien profond, sans tuyaux, on peut tirer (avec doubles « cordes et poulies) l'eau, de telle façon que celuy qui tourne, ne sent que « la moitié de la pesanteur de l'eau et du seau. »



Fig. 54. — Crochets droits et crochets à trois bosses, implantés sur les arbres moteurs pour empêcher le glissement de la chaîne de transmission (Agricola, 1556).

La figure 45 montre l'application du levier funiculaire du deuxième genre pour hisser une lanterne à huile.

La figure 46, extraite de l'*Encyclopédie*, montre le halage d'un traîneau servant au transport d'une statue de marbre. C'est là le dispositif de traction par corde, employé par les Esquimaux (fig. 29 et 35), mais avec l'adaptation de poulies.

Les figures 47 et 48 montrent, d'après Ramelli, l'application de la poulie au levier funiculaire du troisième genre (fig. 28).

Dans ce troisième genre de levier funiculaire, la poulie parcourt une course égale à la moitié de celle du seau hissé. Aussi Ramelli indique que « avec cette façon de machine, un homme tirera fort facilement l'eau d'un « puis fort profond, avec petite quantité de corde ».

9. — La poulie de transmission.

Nous avons vu que, dès le début, la poulie primitive est entraînée par

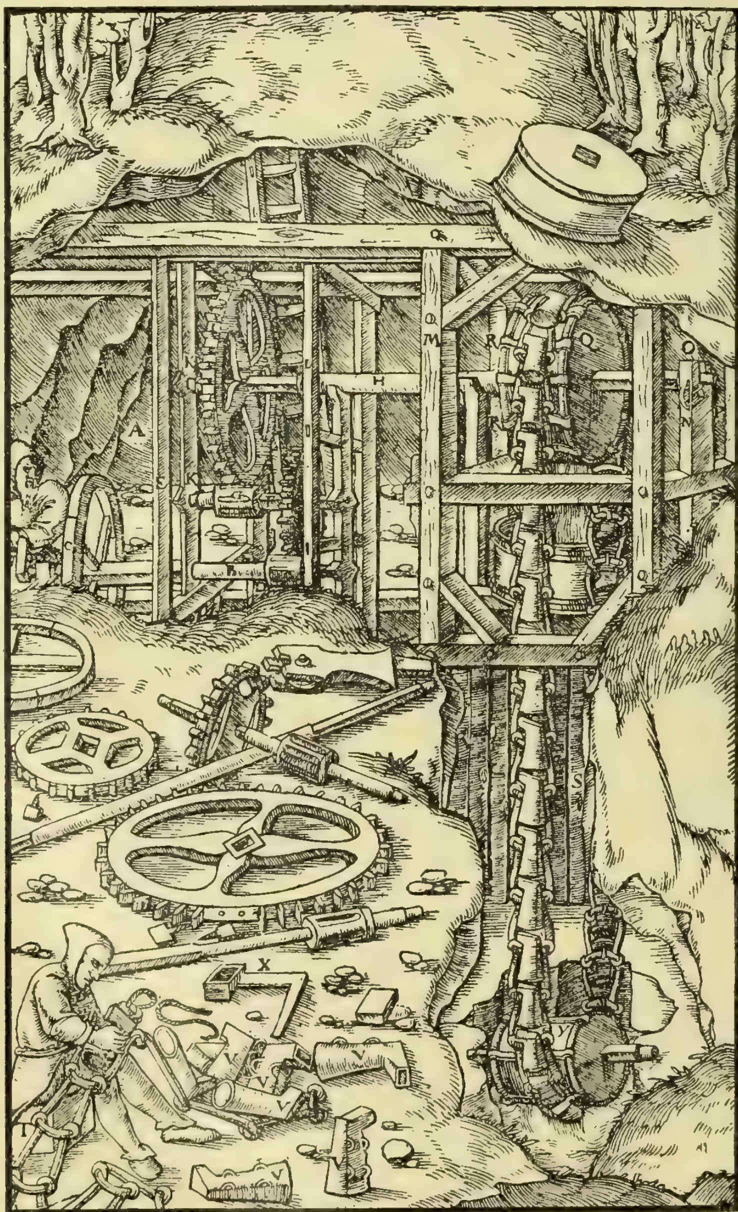


Fig. 55. — Chaîne à maillons de forme rectangulaire pour s'agrafer sur les saillies de l'arbre moteur.

une corde pour transmettre le mouvement de la main et actionner l'arbre de l'ignitérébrateur et celui du foret (fig. 3 à 10).

L'usage de la corde est de beaucoup antérieur à celui de ces premiers mécanismes.

En effet, pour se construire des habitations, des claies d'abris, des radeaux, etc., l'homme primitif a réuni des branches d'arbres et les a liées avec des lianes, des osiers, *imitant en cela ce qu'il voyait dans la nature* : les arbres entourés de plantes grimpantes qui souvent les réunissent et les rendent solidaires. Pour se vêtir, l'homme primitif se couvrait de peaux qu'il attachait avec des lanières découpées dans des mêmes peaux, ou faites de fibres végétales (1).

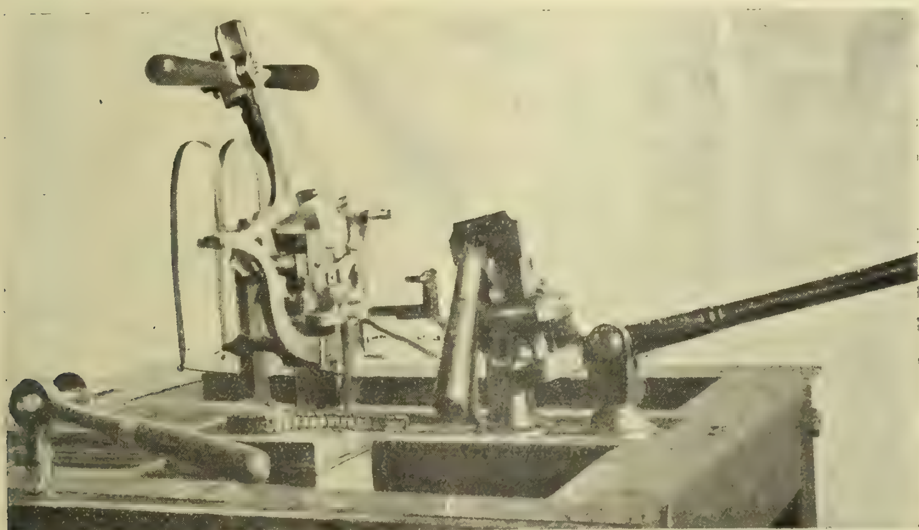


Fig. 56. — Machine imaginée par Vaucanson pour fabriquer la chaîne à maillons articulés et de forme rectangulaire (Conservatoire des Arts et Métiers, n° 6).

L'usage de la lanière de cuir et de la corde tressée de fibres végétales remonte donc à l'époque préhistorique la plus ancienne.

La figure 49 reproduit une des peintures trouvées dans les hypogées de Kourna, territoire de Thèbes, et datant de l'époque de Tahutmés III (18 siècles av. J.-C.). On voit des anciens Égyptiens occupés, l'un à couper des lanières dans une peau, et les autres à les entrelacer et à les tortiller pour en faire des courroies.

La corde entraînée par la traction *alternative* des deux mains (fig. 3 et 4) ou par l'archet (fig. 5, 6, 8 et 10) communique un mouvement circulaire *alternatif* à l'arbre des premières machines utilisées par l'homme : ignitérébrateur, forerie, tour de mécanicien, etc.

(1) Ch. Fremont, *Origine et évolution des outils*; mémoire publié par la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale, Paris, 1913, p. 14 et 16.

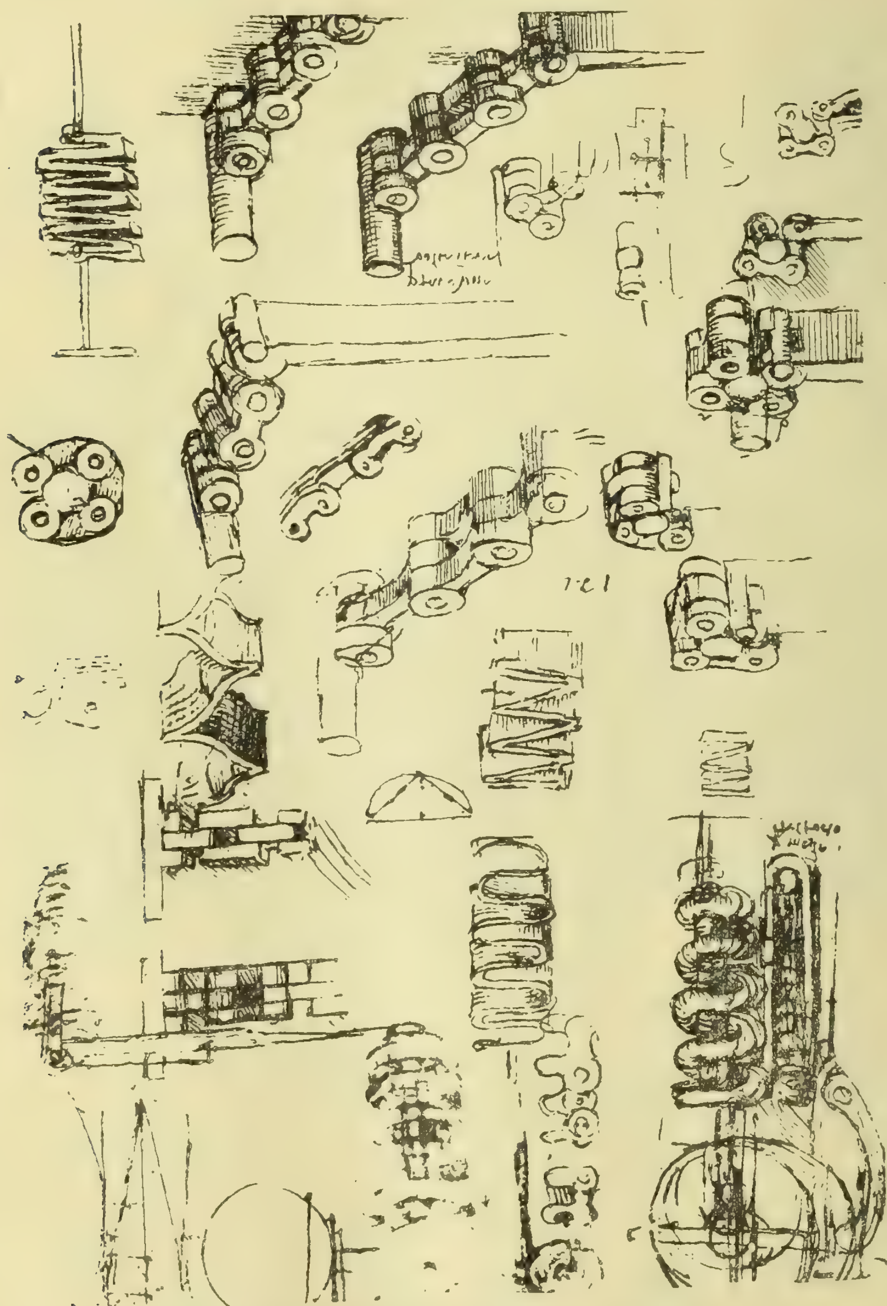


Fig. 37. — Chaines à maillons superposés de Léonard de Vinci.

Ce mouvement a été seul longtemps employé avant de se modifier en mouvement circulaire *continu*.

La figure 50, donnée par Philon de Byzance, ingénieur grec du IIe siècle

avant notre ère, et représentant le fonctionnement d'une noria, nous permet de comprendre pourquoi et comment le mouvement circulaire continu a été substitué au mouvement circulaire alternatif.

Le texte qui accompagne la figure indique, d'après la traduction de M. le baron Carra de Vaux, que la poulie est actionnée par une corde enroulée sur le dévidoir que l'on tourne avec la main de la même façon que les cordiers tordent les cordes minces.

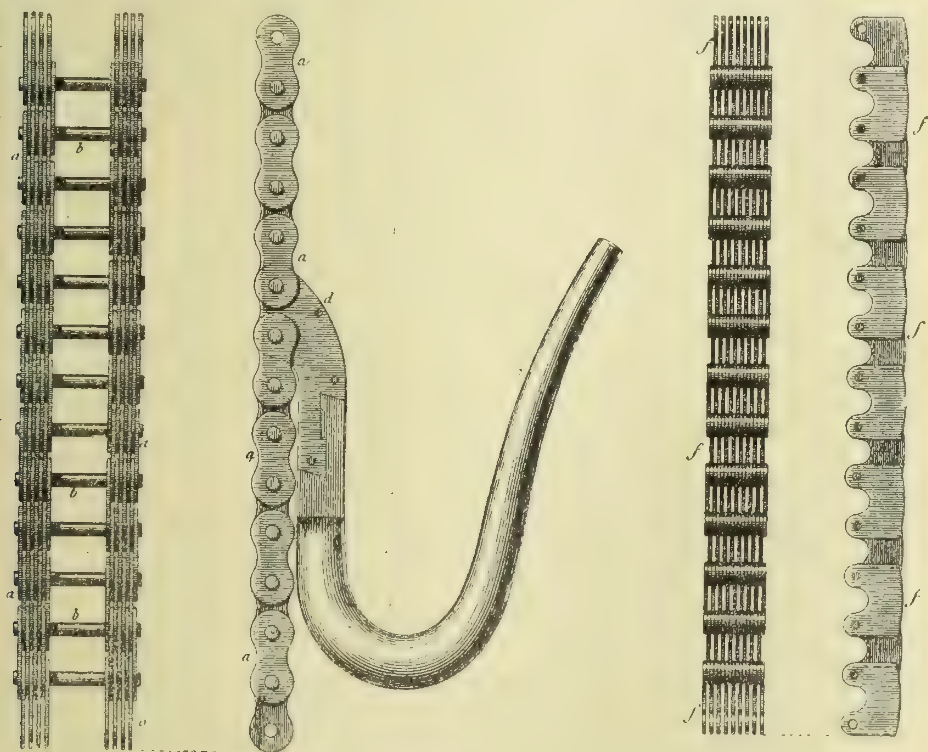


Fig. 58-59. — Chaine sans fin dite chaine Galle.

Quand la corde, d'abord enroulée sur la poulie de commande calée sur l'arbre de transmission, est ensuite déroulée graduellement par l'ouvrier à l'aide du treuil, jusqu'à ce que les dernières spires de la corde approchent de la limite de l'équilibre par leur adhérence sur la poulie; à ce moment, l'ouvrier doit cesser de tourner le treuil, sinon la corde glisserait, entraînée par le poids des godets pleins.

(C'est pour éviter ce retour accidentel en arrière de la noria, lors de l'arrêt du manège moteur, qu'on a imaginé d'adapter sur l'arbre un frein, ainsi qu'on le voit sur la figure 51.)

Dans l'installation primitive, suivant la figure 50, l'ouvrier devait d'abord

caler la noria, en passant par exemple une planche à fleur du puits et sous le godet montant arrivé à cette hauteur; puis dérouler la corde du treuil et l'enrouler à la main sur la poulie de commande fixée sur l'arbre, pour pouvoir recommencer la traction à l'aide du dévidoir à manivelle.

Plus la corde était longue, moins souvent il fallait recommencer cette manœuvre fastidieuse.

Pour éviter l'encombrement du dévidoir, la longue corde n'était enroulée que de quelques spires, assez pour assurer l'adhérence par le frottement et le brin extrême se déroulait au fur et à mesure de l'action du treuil, comme on le voit sur les cabestans (fig. 19).

Or, en imaginant de repasser de suite sur la poulie de commande l'extrémité du brin déroulé de l'évidoir, l'ouvrier n'avait plus à effectuer le dévidage du treuil, puisque ce travail devenait automatique; puis, en imaginant encore de réunir les deux extrémités de la corde, l'ouvrier obtenait un mouvement continu par corde sans fin.

C'est donc dans le but de supprimer la manœuvre en arrière pour dévider le treuil, que l'enroulement continu a été substitué à l'enroulement alternatif.

Fig. 60. — Courroie sans fin et paliers (Léonard de Vinci, 1500).

On serait peut-être enclin à supposer que l'invention de la transmission par corde sans fin enroulée

d'un demi-tour sur la poulie motrice et sur la poulie entraînée, a été inspirée



Fig. 61. — Courroies, sangles (Léonard de Vinci, 1500).

de la noria même, dont le fonctionnement est continu et obtenu par deux cordes sans fin parallèles portant les pots.

La figure 50 qui montre cette disposition est schématique et l'adhérence des deux cordes enroulées d'un demi-tour sur le treuil supérieur qui les porte est insuffisante pour résister au glissement sous le poids des pots chargés.

Il a fallu trouver des artifices pour empêcher ce glissement sur une surface lisse. Ainsi une autre noria de Philon de Byzance (fig. 52) possède, en outre des deux cordes porte-pots, deux chaînes sans fin pour transmettre le mouvement de la roue hydraulique motrice à l'arbre supérieur de la noria. Ces deux chaînes sans fin sont entraînées par des poulies à surface rugueuse, comme nous le verrons plus loin.

D'après le texte traduit par M. le baron Carra de Vaux, les deux arbres parallèles, qui entraînent la noria, portent chacun *un instrument triangulaire*, c'est un engrenage à trois dents sur lequel s'articule *l'organe de fer ressemblant à une colonne vertébrale*. Les segments de cet organe, qui remplace les cordes porte-pots, sont de longueur correspondant à celle des côtés de ce que Philon de Byzance appelle l'instrument triangulaire; les axes d'articulation sont de grands clous de fer.

De sorte que, dans cette noria, les chaînes de transmission comme les cordes porte-pots, sont agencées pour éviter le glissement prévu.

Pour éviter ce même glissement prévu de la corde de transmission de la puissance motrice, on a dû entourer la poulie de plusieurs spires pour donner une adhérence suffisante. Cette disposition permet un fonctionnement convenable, même avec une construction médiocre (ce qui était évidemment le cas général dans les anciens temps) parce que la tension de la corde ne se faisant que par un seul brin, les petites variations d'écartement ou de parallélisme des deux arbres étaient sans importance. En effet, de telles variations rendaient impossible toute transmission par corde sans fin enroulée seulement d'un demi-tour, le moindre rapprochement des axes diminuant de suite la tension et tout écart de parallélisme des arbres déplaçant la corde au point de la faire tomber de la poulie.

L'emploi de la *chaîne métallique* pour transmission est donc très ancien puisqu'il est mentionné sur cette noria (fig. 52) de Philon de Byzance; il a été imposé par la nécessité d'obtenir une transmission susceptible de supporter de plus grands efforts de traction sans subir un allongement élastique aussi important que celui de la corde.

Pour donner une adhérence suffisante à la chaîne enroulée sur une surface unie, on lui a donné, suivant les cas, ou bien un enroulement de plusieurs spires, comme on le faisait depuis longtemps avec la corde (fig. 53), ou bien on a cloué sur l'arbre ou sur la poulie, des agrafes ou crochets formant saillies et empêchant les mailles de glisser (fig. 54).

Ces agrafes étaient d'abord droites, puis à *trois bosses*, pour engrener dans les maillons de la chaîne, comme on le voit sur cette figure 54.

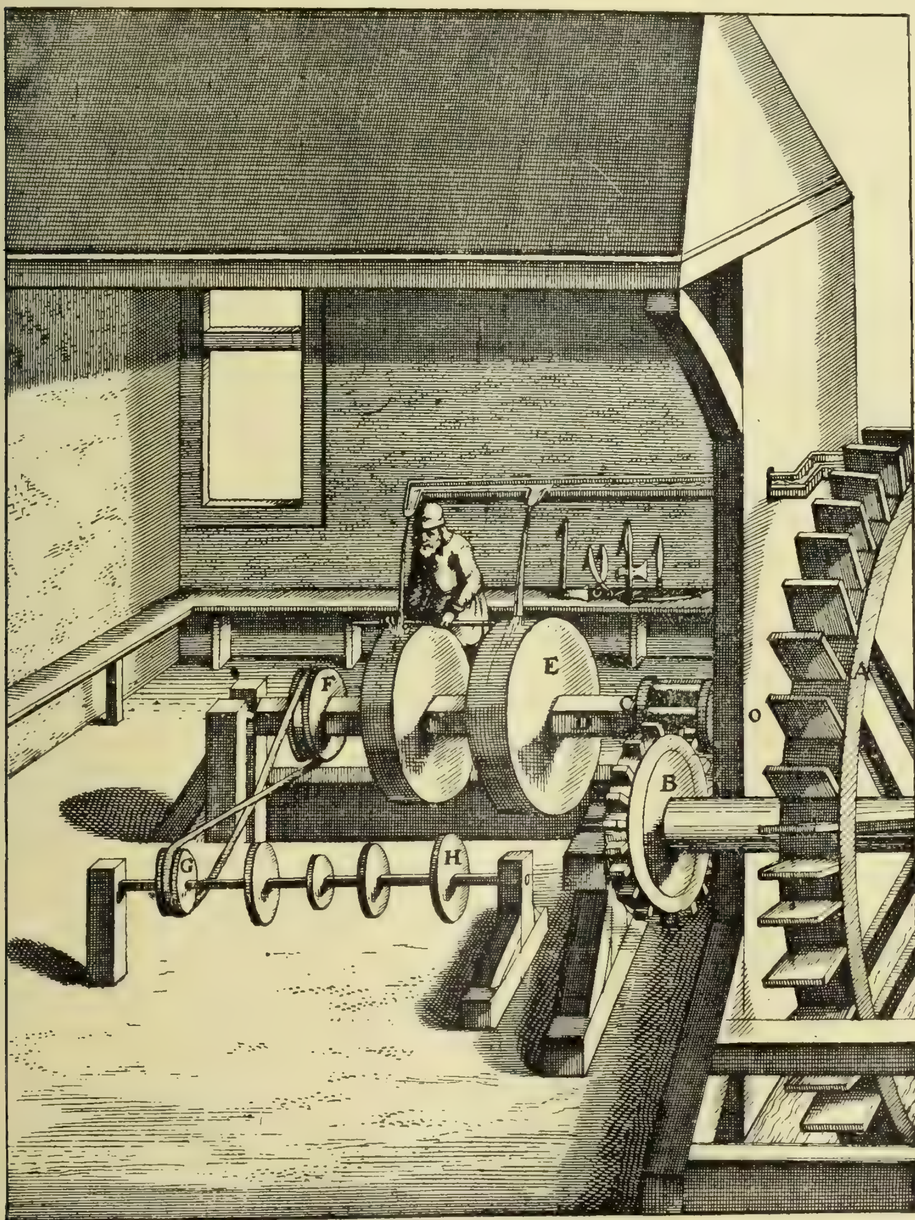


Fig. 62. — Courroie plate, sans fin et à brins croisés (Andréa Bockleri, Nuremberg, 1662).

Puis, toujours pour améliorer l'engrènement, on a donné aux maillons de la chaîne une forme de rectangles entrelacés venant s'agrafer sur les saillies des crochets (fig. 18 et 55).

Cette forme, très ancienne de maillons, porte le nom du célèbre mécanicien Vaucanson, non pas qu'il en fût l'inventeur, puisqu'on trouve cette chaîne déjà en service au XVIe siècle, mais parce qu'il imagina une machine pour la fabriquer mécaniquement.

Cette machine (fig. 56) est exposée dans les galeries du Conservatoire des Arts et Métiers.

Cette chaîne ne peut résister à de grands efforts parce que les attaches sont seulement enroulées. Pour transmettre de plus grands efforts, on a employé la chaîne à maillons superposés dont Léonard de Vinci nous a laissé un croquis dans ses manuscrits (fig. 57).

André Galle, en combinant les deux types de chaînes (fig. 18, 55, 56 et 57) a fait breveter, le 29 juillet 1829, une chaîne en forme de crémaillère articulée (fig. 58 et 59) qui convient très bien pour les transmissions par engrenages ainsi que nous le verrons plus loin.

Nous utilisons encore, pour transmettre de faibles efforts, la petite corde sans fin en fibres végétales, la corde en boyau, la lanière en cuir.

Léonard de Vinci, dans ses manuscrits, nous donne une petite transmission avec poulies bi-coniques (fig. 60).

La courroie plate est aussi représentée dans les manuscrits de Léonard de Vinci; ainsi on la voit sur la figure 61 avec brins parallèles et brins croisés.

La légende qui accompagne les croquis appelle sangle (cinghia) ces sortes de courroies.

La figure 62 montre l'emploi de la courroie plate, sans fin et à brins croisés, pour entraîner des meules dans une aiguiserie du XVIIe siècle.

Ch. Fremont.

(*A suivre.*)

ENQUÊTE SUR LE MODE DE RECRUTEMENT DES ÉLÈVES DES ÉCOLES D'ARTS ET MÉTIERS ET SUR L'ORGANISATION DES CONCOURS D'ADMISSION A CES ÉCOLES.

Avis de la Société d'Encouragement.

Le 7 juin 1920, M. le Sous-Secrétariat de l'Enseignement technique, a adressé à la Société d'Encouragement la lettre et un questionnaire dont on trouvera plus loin le texte, lui demandant son avis en ce qui concerne les modifications qu'il y a lieu d'apporter : 1° au recrutement des élèves des Écoles d'Arts et Métiers; 2° et, éventuellement, à l'organisation du concours d'admission à ces écoles.

Le Comité des Arts mécaniques, saisi de la question, a chargé MM. Arbel, Dantzer et Guillery de l'étudier et de lui présenter un projet de la réponse à adresser à M. le Sous-Secrétaire d'État. Le projet prévu a été soumis au Comité des Arts mécaniques dans sa séance du 2 novembre 1920. Après un échange de vues auquel ont pris part les rapporteurs précités et MM. Rateau, Sauvage, Walckenaer et Lindet, le texte de la réponse a été arrêté comme suit. Cette réponse a été adressée à M. le Sous-Secrétaire d'État de l'Enseignement technique le 25 novembre.

A Monsieur le Président de la Société d'Encouragement.

La loi du 25 juillet 1919 (Loi Astier), nécessitera une réorganisation et une refonte complète de notre enseignement technique à tous les degrés, qui prendra enfin tout son développement et toute l'importance qu'il doit avoir dans un grand pays comme le nôtre.

L'Administration de l'Enseignement technique ne peut entreprendre un pareil travail de réorganisation, qui est une œuvre complexe et délicate, sans la collaboration résolue et confiante du personnel des écoles et de toutes les compétences extérieures. Nous faisons appel à votre collaboration.

Les décisions utiles ne pourront être prises qu'après une consultation générale, qui réunira toutes les opinions autorisées et qui portera, successivement, sur les diverses questions à l'étude. Pour l'instant, cette consultation se limite à la question du *recrutement des écoles d'arts et métiers*. Ces écoles doivent jouer, dans la refonte projetée, un rôle de premier plan, à la fois *direct*, par la formation intellectuelle et technique de nombreux ingénieurs, qui auront à revendiquer une part importante dans le développement industriel du pays, et, *indirect*, par l'éducation

pédagogique des maîtres que réclamera le développement de l'apprentissage et la multiplication des cours professionnels.

Il n'échappera à personne que cette question du « recrutement » doit précéder celle de la réorganisation des Écoles, puisque, en définitive, les solutions apportées à ces diverses questions d'âge des élèves, de leur préparation intellectuelle et technique antérieure, du niveau du concours d'admission, etc.:. devront influer, indirectement, sur l'étendue des programmes mêmes des écoles, sur l'orientation des études et le but final à atteindre.

J'ai pensé que par votre situation actuelle et vos occupations antérieures vous pouviez fournir à mon Administration d'utiles indications sur l'étude qu'elle va entreprendre.

Je viens donc vous demander de vouloir bien me faire part des observations et suggestions que vous pourriez avoir à présenter sur les nombreuses questions que soulève le recrutement des élèves dans les Écoles nationales d'Arts et Métiers.

Pour faciliter le depouillement des communications qui pourront m'être adressées à ce sujet, j'ai groupé dans le questionnaire, ci-joint, les principaux points sur lesquels, je désirerais particulièrement être renseigné, mais je vous demanderai de ne voir dans ce questionnaire qu'une indication de l'ordre à suivre.

D'ailleurs, pour faciliter le travail de dépouillement auquel mes bureaux auront à procéder, il y aurait intérêt à ce que les réponses *fussent établies sur un feuillet distinct pour chacune des deux questions générales qui sont posées.*

Je vous remercie à l'avance du précieux concours que vous voudrez bien, en cette circonstance, apporter à mon Administration.

Le Sous-Secrétaire d'Etat de l'Enseignement technique,
Signé : COUPAT.

QUESTIONNAIRE

I. — ADMISSION AUX ÉCOLES D'ARTS ET MÉTIERS.

1° *Mode de Recrutement.* — Y a-t-il lieu d'apporter des modifications au mode de recrutement actuel? Dans l'affirmative, envisager chacune des propositions suivantes :

a) L'admission des élèves doit-elle se faire par voie de concours, ou simplement sur titres?

b) Quel devrait être l'âge minimum des candidats?

Doit-on maintenir une limite d'âge supérieure, et laquelle? (remarquer que cette question peut influer, sur le régime des écoles internat ou externat).

c) Peut-on exiger des candidats un stage préalable d'un an dans un atelier industriel?

2° *Organisation du concours.* — L'hypothèse du concours étant admise, envisager les questions suivantes :

a) Justifications diverses pour l'inscription des candidats (certificats, livret scolaire, etc.)...

b) Épreuves écrites, orales, manuelles; nature de ces épreuves leur durée, leur

importance (coefficients); leur notation : conditions à exiger pour l'admissibilité et l'admission définitive.

c) Organisation matérielle du concours : où auront lieu les compositions écrites, les interrogations orales? (choix des centres) comment composer les commissions de surveillance; comment régler leur activité? (rendre la surveillance efficace).

d) Mode de correction des épreuves : jury unique ou jurys régionaux. — Choix des textes; composition des jurys, etc....

e) Les programmes d'admission : modifications à apporter aux programmes actuels; (additions ou suppressions). — Les langues vivantes, (doit-on les maintenir au titre obligatoire ou facultatif; convient-il de les supprimer?)

II. — Commentaire explicatif.

Jusqu'ici, les élèves ont été recrutés exclusivement au concours.

Longtemps, aucun titre ne fut exigé pour l'inscription des candidats; mais depuis un certain nombre d'années, en vue d'augmenter le degré de leur culture générale, on a exigé d'eux la production préalable, soit du certificat d'études primaires supérieures (ou brevet d'enseignement primaire supérieur) soit du certificat d'études pratiques industrielles, soit de quelque titre reconnu équivalent. Doit-on maintenir cette obligation, ou se contenter des garanties du concours.

Les candidats doivent remplir également certaines *conditions* d'âge; or ces conditions d'âge ont varié à plusieurs reprises; hier, les candidats devaient avoir plus de quinze ans et moins de *dix-huit ans au 1er janvier* de l'année du concours; la veille, on exigeait *plus de quinze ans* et moins de dix-huit ans au *1er octobre* de l'année du concours; on se préoccupait donc de relever quelque peu l'âge des candidats, aujourd'hui on a prorogé la limite d'âge supérieure à dix-neuf ans, tout en spécifiant *qu'aucun candidat ne pourra se présenter plus de 3 fois*; c'est encore la même préoccupation d'élever l'âge; mais, en même temps, on veut pouvoir choisir de bons candidats et éliminer ceux qui, moins doués, ne réussiraient à forcer les portes de l'école que grâce à leur obstination patiente. Cette dernière préoccupation avait même dominé un instant et en avait ainsi modifié les conditions d'âge : « Plus de quinze ans et moins de dix-sept ans au 1er janvier » (décret du 11 octobre 1809). *Les candidats ne pouvaient plus se présenter que deux fois.* Ces considérations ont leur importance et méritent de retenir l'attention. Ne pourrait-on admettre des candidats plus âgés encore? et même y aurait-il de graves inconvénients à supprimer la limite d'âge supérieure? Dans l'hypothèse de cette suppression, les candidats seraient-ils admis à se présenter un nombre quelconque de fois?

Nous ne donnons ces détails, que pour bien faire comprendre que la question doit être examinée sans timidité, et dans toute son ampleur. On pourra même envisager la possibilité de changer totalement le mode de recrutement et de supprimer le concours proprement dit; dans ce cas, le stage d'un an à dix-huit mois serait obligatoire et quels titres seraient exigés des postulants? Comment pourrait se faire ensuite l'élimination rapide des élèves insuffisants?

Si le concours est maintenu, il y a lieu d'examiner les programmes d'admission et d'indiquer, *clairement et avec précision*, les modifications désirables (additions ou suppressions).

Que pense-t-on des épreuves écrites, des épreuves manuelles, et des épreuves orales actuelles; quelles modifications suggère-t-on quant au *nombre* et à la *nature* de ces épreuves, ou à leur importance relative (*coefficients*).

Il y a lieu d'assurer autant que possible la sincérité des épreuves écrites; comment conçoit-on l'organisation et la composition des Commissions de surveillance?

La question du concours en lui-même est intéressante, aussi, peut-on et doit-on constituer un jury unique, ou des jurys régionaux (un par école)? Comment choisir les membres de ce (ou ces) jury?

Où doit avoir lieu l'oral, dans certains centres désignés, ou au siège même de l'École? Quelles doivent être les conditions à remplir pour l'admissibilité, pour l'admission définitive?

Comment exiger des élèves une préparation sérieuse aux travaux d'atelier et comment la contrôler? L'épreuve manuelle doit-elle être subie par tous les candidats et dès lors, être placée à l'écrit — ou seulement par les candidats déclarés admissibles, ce qui permet de la reporter à l'oral? Comment la modifier, pour la rendre plus probante? (*nature* de l'épreuve, *durée*, etc...).

Peut-on imposer aux candidats un stage dans un atelier industriel avant leur entrée à l'École? Ce stage doit-il précéder le concours d'admission ou le suivre? Quelle pourrait être sa durée, sa nature? Peut-il être uniforme; comment le sanctionner? Si le stage précède le concours, les travaux d'atelier à l'École seront réduits. Si ce stage est réel, quels pourraient être ses avantages, sa répercussion sur le régime et la durée des études à l'École même?

On voit par ces quelques considérations, combien notre enquête, même limitée au recrutement des Écoles d'arts et métiers, soulève de problèmes; elle mérite de retenir votre attention et nous insistons à nouveau pour obtenir de chacun une collaboration *active* et *confiante*.

AVIS DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE (1) EN CE QUI CONCERNE :

1° LE MODE DE RECRUTEMENT DES ÉLÈVES DES ÉCOLES D'ARTS ET MÉTIERS.

Y a-t-il lieu d'apporter des modifications au mode de recrutement actuel? Dans l'affirmative envisager chacune des propositions suivantes :

a) L'admission des élèves doit-elle se faire par voie de concours ou simplement sur titres?

Réponse. — Le recrutement par voie de concours est, à notre avis, le seul qui donne toutes les garanties nécessaires. Il permet aux candidats de mettre en valeur, non seulement leurs connaissances théoriques, mais aussi leur esprit de décision et d'à-propos, leur spontanéité dans les réponses,

(1) Adressé à M. le Sous-Secrétaire d'État de l'Enseignement technique, Ministère de l'Instruction publique et des Beaux-Arts, le 25 novembre 1920.

leur présentation personnelle, toutes qualités qui interviendront considérablement plus tard dans leur carrière.

b) Quel devrait être l'âge minimum des candidats?

Réponse. — Cet âge est fonction du programme exigé pour le concours d'entrée; il faut que les candidats aient eu le temps de s'assimiler utilement les questions qui figurent dans leur programme d'examen. Il semble que les limites fixées par le décret du 11 octobre 1899, « plus de quinze ans et moins de dix-sept ans au 1er janvier » avec deux fois pour le maximum des présentations, soient judicieuses.

Doit-on maintenir une limite d'âge supérieure, et laquelle? (Remarquer que cette question peut influer sur le régime des écoles, internat ou externat.)

Réponse. — Il est indispensable de fixer une limite d'âge supérieure, de façon que le candidat ne puisse se présenter à l'examen que deux ou trois fois. Il y a intérêt à éliminer les candidats peu doués qui arriveraient à s'assimiler les questions par routine au bout de plusieurs années. Les limites d'âge actuelles paraissent bien choisies, elles nécessitent le régime de l'internat qui est le plus propice au travail pour des élèves de cet âge.

c) Peut-on exiger des candidats un stage préalable d'un an dans un atelier industriel?

Réponse. — Un stage préalable dans une usine est préjudiciable à la continuité des études et surtout à la discipline exigée des élèves à l'école. Ce stage sera avantageusement remplacé par des visites d'usines au cours des études, visites qui devront être préparées par des conférences explicatives, pour que ces visites ne soient pas de simples promenades, et suivies de comptes rendus, écrits par chaque élève, qui devront donner lieu à un contrôle et à un classement tout spécial car c'est dans ces rapports que se révèlera la sagacité des qualités d'observation de chaque élève.

Le séjour à l'école sera utilement suivi d'un voyage d'études, faisant l'objet : d'un programme bien déterminé et, de la part de l'élève, d'un rapport écrit circonstancié, qui devra influer dans le classement définitif.

2° L'organisation du concours d'admission aux Écoles d'Arts et Métiers.

L'hypothèse du concours étant admise, envisager les questions suivantes :

a) Justifications diverses pour l'inscription des candidats (certificats, livret scolaire, etc.

Réponse. — Si le nombre de candidats est trop élevé par rapport au

nombre des places disponibles, il est avantageux de faire une première élimination en exigeant d'eux qu'ils justifient d'un examen antérieur, par exemple du certificat d'études primaires supérieures ou d'un certificat équivalent.

Parallèlement, il est désirable d'accorder un certain avantage aux candidats qui joignent aux connaissances techniques exigées à l'examen, une culture générale; quelques points supplémentaires peuvent donc être accordés aux candidats qui justifieraient de titres d'enseignement secondaire, ou de titres équivalents au point de vue de culture générale.

Ce sont surtout les besoins de l'industrie qui devraient influer le nombre des admissibles chaque année. Il est certain qu'en raison des vides causés par cinq ans de guerre, le nombre des places doit être augmenté au moins pendant le même nombre d'années, proportionnellement au chiffre des candidats.

b, *c*, *d*, *e*) En ce qui concerne :

les épreuves écrites, orales, manuelles;
l'organisation matérielle du concours;
le mode de correction des épreuves, le jury;
les programmes d'admission,

notre documentation est insuffisante pour donner un avis qualifié.

Néanmoins, nous croyons devoir insister sur l'intérêt de maintenir l'étude des langues vivantes en la renforçant par l'attribution de points spéciaux dans les concours d'entrée et de sortie.

Mais bien plus que ces questions d'examen d'entrée, la question du programme des cours enseignés à l'école devrait attirer l'attention, et, quoique ces points ne soient pas visés dans le questionnaire qui nous a été soumis, nous nous permettons d'en envisager quelques-uns, facilement réalisables.

Si l'on veut relever le niveau des élèves des Écoles d'Arts et Métiers et, par conséquent, améliorer le sort futur de ces élèves, il est indispensable de développer leur culture générale de façon à ne pas les cantonner *a priori* dans les rôles subalternes. Comme première nécessité, il faut développer chez eux la connaissance du français et la facilité de rédaction.

De plus, il ne suffit pas d'en faire de bons artisans manuels, il faut les préparer à devenir de bons chefs d'atelier, puis des chefs d'industrie. A titre indicatif, on peut donner comme exemple la nécessité de développer l'étude des méthodes rationnelles de travail (système Taylor et autres) qui ont pour but, en intéressant l'ouvrier à la production, d'abaisser le prix de revient et d'augmenter le rendement.

Il faut également enseigner aux élèves à représenter les différentes étapes

des fabrications des matières premières et à suivre les opérations successives du travail au moyen de graphiques.

Cette orientation nouvelle de l'enseignement donné aux écoles est, à notre avis, indispensable pour faire de ces élèves ce qu'ils doivent être, des chefs.

COMMISSION POUR L'UNIFICATION DES FILETAGES

Unification des boulons, vis et écrous décolletés de 2,5 à 12 mm de diamètre de filetage.

Un résumé historique des travaux entrepris par la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale, en vue d'assurer l'unification des systèmes de filetages employés dans les constructions mécaniques, par application à ces filetages du système métrique et du système décimal a été inséré dans le *Bulletin* de septembre-octobre 1919, à l'occasion de la réunion au Ministère, d'une Commission permanente de Standardisation, qui devait être appelée à s'occuper, le cas échéant, de l'unification des filetages.

Ce résumé, rédigé par M. le général Sebert, était suivi d'une note bibliographique, rappelant tous les documents concernant les filetages, publiés par notre Société et complétant les notes antérieures relatives à cette bibliographie. Il était encore accompagné d'un travail de M. le Lieutenant-Colonel Cellerier, exposant la série des mesures prises par le Laboratoire d'Essais du Conservatoire national des Arts et Métiers, pour assurer, en France, l'unification des filetages des vis mécaniques et enfin par un rapport présenté par M. Zetter, administrateur-délégué de l'Appareillage électrique Grivolas, à l'Union des Syndicats de l'Électricité et dans lequel l'auteur, en réunissant toutes les dimensions des écrous et têtes de vis et boulons d'usage courant, s'était proposé de chercher, dans un but d'économie, à réduire l'importance des têtes généralement employées, sans modifier d'ailleurs en rien les dimensions des clefs adoptées pour le système international de Zurich en 1898, dont les prescriptions ont été respectées jusqu'ici.

Après examen, par la 4e Sous-Commission qui a été d'avis qu'il y avait lieu d'en réduire l'application aux vis décolletées et en le limitant à celles de 2,5 mm à 12 mm de diamètre de filetage, ce rapport a été approuvé à l'unanimité par le Comité de l'Union des Syndicats d'Électricité dans sa séance du 7 janvier 1920.

Les propositions en ont été déjà insérées dans la *Revue Générale d'Électricité* du 24 avril 1920; nous croyons utile de les reproduire également ci-après, en signalant que les dimensions indiquées pour toutes les vis qui y sont mentionnées ont été introduites déjà dans la pratique courante, notamment par l'Appareillage électrique Grivolas, pour son usage propre et pour celui de ses clients qui ont pu constater que l'emploi des écrous et têtes à dimensions réduites, tout en entraînant une réduction notable du prix de revient, ne nuit en rien aux usages ordinaires car les vis et écrous ainsi construits, peuvent s'utiliser parallèlement aux vis et écrous ordinaires sans que l'adoption d'un modèle réduit conduise à l'abandon total de tous les modèles ordinaires d'une fabrication donnée.

Diamètres de filetage. — Les diamètres de filetage sont ceux de la série de la petite mécanique pour 2,5 à 5,5 mm et ceux du Congrès de Zurich pour 6 à 12 mm (colonne 1 du tableau).

Pas. — Les pas sont ceux de la série de la petite mécanique pour 2,5 à 5,5 mm et ceux du Congrès de Zurich pour 6 à 12 mm (colonne 2).

Diamètres sur plats. — Les diamètres sur plats, ou ouverture des clés, sont les mêmes pour les têtes de vis et les écrous, pour les carrés et les hexagones :

1° De 2,5 à 7 mm de diamètre de filetage, l'ouverture de clé correspondante est égale à d', qui est le diamètre de filetage supérieur de 4 degrés dans la série;

2° De 8 à 12 mm de diamètre de filetage, l'ouverture de clé correspondante est égale à $1{,}4\,d + 4$ mm, d étant le diamètre de filetage inférieur de 2 degrés dans la série. (Les ouvertures de clé prévues au Congrès de Zurich restent ainsi en vigueur, quoique attribuées à d'autres filetages), (colonnes 6 et 7).

Diamètres des têtes circulaires. — Les diamètres des têtes circulaires sont les mêmes pour les têtes rondes, cylindriques et fraisées. Ces diamètres sont égaux à d' qui est le diamètre de filetage supérieur de 4 degrés dans la série. (Les diamètres de têtes sont communs avec ceux des filetages sans tête, réduisant ainsi les échantillons à approvisionner), (colonne 8).

Hauteurs des têtes. — La hauteur des têtes est la même pour les formes ronde, cylindrique et hexagonale. Elle est égale à 0,7 D, D étant le diamètre de filetage (colonne 9).

Tête fraisée. — Pour les têtes fraisées, l'angle de cône est de 84°. Étant donné cet angle et le diamètre de la tête, la hauteur de cette tête devient les 0,555 de la différence entre le diamètre de la tête et celui du filetage (colonne 10).

Une partie cylindrique surmonte le cône, sa hauteur est égale à la moitié du pas (colonne 11).

Par suite, la hauteur totale des têtes fraisées est égale à la somme des deux hauteurs précédentes (colonne 12).

La hauteur de la partie bombée, s'il y en a, s'ajoute aux hauteurs ci-dessus.

Écrous. — L'épaisseur des écrous est la même pour les écrous hexagonaux et carrés.

Les écrous hauts ont une hauteur égale à *d*, *d* étant le diamètre du filetage inférieur de 2 degrés dans la série (colonne 4).

Les écrous bas ont une hauteur égale aux 2/3 des précédents (colonne 5).

Fentes. — 1° *Largeur.* — La largeur de la fente est la même pour toutes les formes de têtes :

Elle est égale à 0,7 mm pour les têtes de vis de 2,5 à 4,5 mm de diamètre de filetage.

Elle est égale à 1,2 mm pour les têtes de vis de 5 à 8 mm de diamètre de filetage.

Elle est égale à 2 mm pour les têtes de vis de 9 à 12 mm de diamètre de filetage.

2° *Profondeur.* — La profondeur de la fente est la même pour les têtes rondes et cylindriques. Elle est égale au 1/3 de la hauteur de la tête (colonne 14). Pour les vis à tête fraisée, la profondeur de la fente est égale à la moitié de la hauteur totale de la tête (colonne 15).

Longueur sous tête. — La longueur sous tête minimum des vis est indiquée colonne 16. A partir de ce minimum, les longueurs de vis de série sont déterminées en ajoutant au nombre de base 4, successivement et en cumulant, la suite naturelle des nombres 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12,... 51, etc... donnant ainsi les différentes longueurs de 4, 5, 7, 10, 14, 19, 25, 32, 40, 49, 59, 70, 82,... 500, etc.

Il semble difficile d'arrêter des longueurs maxima définitives correspondant à chaque diamètre. Les maxima se détermineront par la pratique suivant les besoins des constructeurs ou de leurs clients et seront variables avec la nature de chaque industrie.

Les valeurs ci-dessus ne servent à ce sujet que d'indication et sont celles préconisées par les Établissements Schneider et par les Chemins de fer français.

DIAMÈTRES NOMINAUX	PAS	OUVERTURES DES CLÉS prévues au congrès de Zurich	ÉCROUS — Épaisseur — Haut.	ÉCROUS — Épaisseur — Bas.	ÉCROUS — Diamètre — Carrée, hexagonale (sur plat). / VIS ET BOULONS — Diamètre de la tête — Carrée, hexagonale (sur plat).	Diamètre de la tête — Circulaire.	Hauteur de la tête — Ronde, cylindrique, hexagonale.	Hauteur de la tête — Fraisée — Partie conique.	Hauteur de la tête — Fraisée — Partie cylindrique.	Hauteur de la tête — Fraisée — Totale.	Fente — Largeur.	Fente — Profondeur — Têtes cylindrique et ronde.	Fente — Profondeur — Tête fraisée.	Longueur sous tête — Minimum.	Longueur sous tête — Accroissements successifs.
1	2	3	4	5	6 / 7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
2,5	0,45		2	1	4,5	4,5	2	1,11	0,2	1,31	0,7	0,7	0,7	4	Au nombre de base 4, on ajoute successivement et en cumulant les nombres 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12,... 31, etc., obtenant ainsi les différentes longueurs de 4, 5, 7, 10, 14, 19, 25, 32, 40, 49, 59, 70, 82,... 500, etc.
3	0,6		2	1	5	5	2	1,11	0,3	1,41	0,7	0,7	0,7	4	
3,5			2,5	1,5	5,5	5,5	2,5	1,11	0,3	1,41	0,7	0,8	0,7	4	
4	0,75		3	2	6	6	3	1,11	0,4	1,51	0,7	1	0,7	5	
4,5			3,5	2,5	7	7	3	1,39	0,4	1,79	0,7	1	0,9	5	
5	0,9		4	2,5	8	8	3,5	1,66	0,5	2,16	1,2	1,2	1,1	7	
5,5			4,5	3	9	9	4	1,94	0,5	2,44	1,2	1,3	1,2	7	
6	1	12	5	3,5	10	10	4,5	2,22	0,5	2,72	1,2	1,5	1,4	10	
7		13	5,5	3,5	11	11	5	2,22	0,5	2,72	1,2	1,7	1,4	10	
8	1,25	15	6	4	12	12	5,5	2,22	0,6	2,82	1,2	1,8	1,4	14	
9		16	7	4,5	13	14	6,5	2,77	0,6	3,37	2	2,2	1,7	14	
10	1,5	18	8	5,5	15	16	7	3,33	0,8	4,13	2	2,3	2	19	
11		19	9	6	16	18	7,5	3,88	0,8	4,68	2	2,5	2,3	19	
12		21	10	6,5	18	20	8,5	4,44	0,9	5,34	2	2,8	2,7	19	
14		23													
16		26													
18		29													
20		32													
Série de la petite mécanique de 2,5 à 5,5. Congrès de Zurich depuis 6 et au-dessus.			$= d$	$= \frac{2}{3}d$ environ.	$= 1{,}4d + 4$ pour 8 et au-dessus, $= d'$ pour 7 et au-dessous.	$= d'$	$= 0{,}7D$ environ.	0,355 de la différence entre le diamètre de la tête et le diamètre D du filetage.	$= \frac{\text{pas}}{2}$ environ.	Somme des deux valeurs précédentes.		1/3 hauteur de la tête.	1/2 hauteur de la tête.		

La hauteur de la partie bombée (facultative) s'ajoute aux hauteurs ci-dessous.

D étant le diamètre du filetage.
d étant le diamètre du filetage inférieur de 2 degrés dans la série.
d' étant le diamètre du filetage supérieur de 4 degrés dans la série.

NOTE DU COMITÉ D'AGRICULTURE

Les déprédations allemandes dans l'industrie agricole; les reconstitutions,

par M. Lindet,
Membre du Conseil.

Notre ancien président, M. Gruner, à la Société des Ingénieurs civils, notre président d'aujourd'hui, M. Baclé, à la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale, n'ont pas eu de peine à montrer, en présentant des documents authentiques et des photographies suggestives, que les puits de mines et que les établissements métallurgiques avaient été pillés et détruits à coups d'explosifs, non seulement pour s'emparer du matériel et le transporter en Allemagne, mais aussi pour mettre, pendant une longue série d'années, notre industrie dans un état d'infériorité dont ils espéraient qu'elle ne se relèverait pas. Je me propose de faire la même démonstration à propos du rouissage du lin, regrettant de ne pas avoir la compétence nécessaire pour aller plus loin et suivre les déprédations allemandes dans les filatures, les retorderies et les ateliers de tissage (1). Je me propose également d'appeler l'attention sur le lamentable état dans lequel nos ennemis ont laissé nos brasseries, nos sucreries et nos distilleries. Mais, comme M. Gruner et M. Baclé, nous ne laisserons pas le lecteur sous l'impression d'un semblable cataclysme sans lui exposer les efforts qui ont été faits pour reconstituer nos ateliers détruits, mais aussi sans méconnaître les difficultés considérables qu'ont rencontrées et que rencontrent tous les jours les courageux cultivateurs et industriels qui sont rentrés dans leurs pays, les larmes aux yeux, l'énergie au cœur.

Le lin et les ateliers de rouissage.

La guerre a porté un grave préjudice à l'industrie patriarcale du rouissage en eau courante ou, d'une façon générale, en eau froide, et, par là même, à la culture du lin. Les Allemands ont brûlé les « ballons », caisses à claire-voie dans lesquelles on rangeait, serrés les uns contre les autres, les « bonjeaux » de lin; ils ont détruit les appareils de broyage et de teillage. N'était-il pas dans leur programme de conquérants de ruiner notre industrie de la filature et du tissage. Dans ce cas, pourquoi ne pas attaquer cette industrie *ab ovo*, c'est-à-dire l'empêcher de recevoir le lin, même sous forme de filasse. Le centre de rouissage de la Lys s'est, paraît-il, déjà relevé; là s'exécute un travail traditionnel; les ouvriers, fort habiles d'ailleurs,

(1) Cet exposé vient d'être fait par M. Mariage devant la Société des Ingénieurs civils, le 22 mars 1921.

sont retenus par atavisme au sol où leurs pères et leurs grands-pères étaient rouisseurs avant eux. Mais il ne semble pas en être ainsi des centres de Douai : Flines, Beuvry, Hasnon, Ecourt-Saint-Quentin, où le rouissage n'était guère prospère avant 1914.

La reconstitution de nos ateliers de rouissage et de nos cultures de lin est d'autant plus nécessaire que non seulement la France, mais l'Europe entière, manque de lin; la Russie lui importait en effet 280.000 t de filasse. La France qui, pour son compte, en recevait 80.000 t, est une des nations les plus éprouvées par ce déficit.

La France est déficitaire parce qu'elle a trop vite abandonné la culture du lin, pensant que le réservoir russe ne tarirait pas. Avant la guerre de 1870, en effet, elle produisait 100 à 110.000 t de filasse sur 100.000 ha et suffisait à peu près à sa consommation. En 1913, cette production était tombée à 22.000 t de filasse, récoltée sur 30.475 ha. Arrive la guerre de 1914; les terres à lin du nord sont envahies, et nous trouvons de 1914 à 1918, des chiffres de production s'abaissant à 10.000, 5.000, 4.200, 4.600, 6.000 t. Mais bientôt la culture reprend; ce n'est plus 7 à 8.000 ha que l'on ensemence désormais; c'est, en 1919, 21.170 ha, et, en 1920, 28.170, c'est-à-dire à peu près le nombre d'hectares enregistrés en 1913; la production remonte à 16.000 t de filasse en 1919 et à 20.000 t en 1920, chiffre très analogue à celui de 1913 (22.000 t). Mais il nous manque encore plus de 80.000 t de filasse.

Les trouverons-nous sur notre sol? Bien des objections sont présentées dont je ne méconnais pas la valeur, mais qu'il serait souhaitable de voir disparaître, au prix des plus grands efforts, non pas pour que nous ne soyons plus tributaires de l'étranger, mais pour que nous puissions avoir, en quantités suffisantes, du linge et des draps de « fil » et du fil à coudre; car nos fournisseurs d'avant-guerre ne peuvent plus nous approvisionner.

Une des objections qu'il convient d'écouter, mais non pas d'admettre, est que, dans bien des régions, on n'a pas l'usage de la culture du lin, et que le cultivateur tend, pour éviter les risques et les déceptions, à ne faire que ce qu'il connaît déjà. Beaucoup de cultivateurs seront effrayés de la main-d'œuvre qu'il convient d'employer pour sarcler, d'abord, puisque le semis serré (préconisé si l'on veut obtenir le maximum de fibres) oblige à travailler à la main, pour arracher ensuite; l'arrachage est nécessaire parce qu'on laisse en place, de cette façon, les mauvaises herbes qui n'ont pas encore gagné la hauteur de la tige à laquelle on empoigne la paille, mauvaises herbes qui seraient mélangées aux fibres, si on fauchait le lin. Mais il existe des machines qui empoignent également la paille assez haut pour que celle-ci abandonne ses commensaux. Diverses machines sont étudiées en ce moment et peuvent déjà rendre des services : celle de la « Fibre Corporation limited », celle de Versot ou « Perfection flax pulling machine », celle de l' « American push Tombyl », modifiée par des constructeurs allemands.

Dans les années sèches, la tige ne se développe pas, et les pailles trop courtes sont refusées par le commerce. Elles n'ont pas besoin d'être courtes d'ailleurs pour ne pas trouver acheteur. Les courtiers, avant la guerre surtout, étaient impitoyables; l'un d'eux venait-il faire à un cultivateur de lin des propositions qui étaient écartées, que ce cultivateur était certain de ne plus recevoir, d'ici à la saison suivante, ni ce courtier, ni aucun autre et de ne pouvoir vendre sa récolte.

Le problème du rouissage présente moins de difficultés. Il est résolu depuis longtemps par le travail en eau courante, en eau dormante ou sur pré; beaucoup de lins produits dans différents départements allaient se faire rouir sur la rive française ou sur la rive belge de la Lys. Les cultivateurs de lin se désintéressaient d'ordinaire du rouissage de leurs fibres.

En tout cas, une nouvelle situation se dessine, qui aboutira certainement à une modification profonde des procédés de rouissage : le rouissage agricole se transforme en rouissage industriel; il est obligé, pour supprimer une partie des frais généraux, et par suite abaisser le prix de revient, de suivre le même chemin que la sucrerie, la vinification, la laiterie, etc., comme je l'ai montré (1) et de concentrer le travail journalier dans un nombre moindre d'usines.

Deux procédés peuvent être dès maintenant suivis, celui du rouissage à l'eau chaude, celui du rouissage à l'eau surchauffée.

Le rouissage à l'eau chaude n'est pas chose nouvelle; bien des rouisseurs l'ont pratiqué en demandant aux vapeurs condensées d'une machine motrice quelconque, celle d'un moulin, d'une filature, par exemple, d'aller réchauffer un routoir à eau dormante. Mais il s'agit ici de la systématiser, en travaillant à température constante, de façon à sélectionner automatiquement les races de microbes qui sont susceptibles de donner les meilleurs résultats; c'est ce qu'ont fait Legrand-Vansteenkiste, Coussine, Feuillette, etc. (procédé Feuillette), ou à maintenir, à bonne température, un microbe sélectionné d'avance et maintenu à température fixe en présence d'un courant d'air (procédé Rossi). La cuve en maçonnerie rectangulaire, qui sert de routoir, reçoit l'eau chaude d'un côté et l'évacue de l'autre; elle contient un certain nombre de ballons qui, au moyen de palans, peuvent être déplacés progressivement, depuis le côté froid jusqu'au côté chaud, et peuvent être également basculés, de façon que les pieds et les têtes du lin se trouvent successivement placés tantôt vers le haut, tantôt vers le bas.

On nous signale deux usines fort bien montées par le procédé Feuillette, à Motteville (Seine-Inférieure) et à Medjez-el-Bab (Tunisie).

Le rouissage à l'eau surchauffée a été proposé également plusieurs fois, mais le mérite de l'avoir mis au point revient à M. Peufaillit. Cet inventeur introduit dans les autoclaves où pénètre une cage bourrée de pailles de lin, non seulement de l'eau mais aussi du pétrole lourd. Personne n'a jamais pu expliquer le rôle du pétrole que l'on ne retrouve pas plus après l'opération que si on n'en avait pas introduit. Il serait intéressant de voir si, dans le cas où l'ouvrier aurait oublié de mettre la dose de pétrole qu'on lui prescrit, les fibres seraient appréciées de la même façon que si elles avaient été travaillées en présence de celui-ci?

Le procédé Peufaillit a débuté, à Lille, dans les derniers mois qui ont précédé la guerre, et il est probable que là les Allemands l'ont connu, car ils en font usage aujourd'hui pour transformer en rouissages industriels, une centaine de centres de rouissages agricoles qu'ils avaient montés en hâte, pendant la guerre, pour combler le déficit causé par l'absence de commerce avec la Russie. De notre côté, la Société qui exploite le procédé Peufaillit n'est pas restée inactive; elle a monté, au cours de la guerre, un rouissage à Vertaizon (Puy-de-Dôme) et créé dans cette région un nouveau centre de culture du lin. Nous trouvons, exploités par le

(1) *Évolution des Industries agricoles*, Librairie de l'Enseignement technique, 3 *bis*, rue Thénard, Paris.

procédé Peufaillit, des établissements industriels à Motteville (Seine-Inférieure), à Arques (Pas-de-Calais), à Grande-Synthe, à Seclin, et à Steenvoorde (Nord). Ces deux derniers établissements présentent un intérêt particulier. L'usine de Seclin a été spécialement établie pour « dégommer » la ramie. On sait quelles difficultés on a éprouvées pour obtenir la belle fibre de la ramie par les procédés mécaniques ou chimiques; le procédé Peufaillit donne, dans ce cas, des résultats remarquables. L'usine de Steenvoorde contenait, avant la guerre, une laiterie coopérative, et c'est un rouissage coopératif qui y est aujourd'hui installé.

Nous estimons que l'institution coopérative, tant pour le rouissage que pour toutes les industries agricoles, permet, seule, de mettre le cultivateur à l'abri des abus exercés par les acheteurs. La coopération peut même ne pas se restreindre aux opérations du rouissage, et l'on comprendrait que la Société s'occupât des labours, des semailles, des binages et des arrachages à la machine. J'ai dit, plus haut, que le cultivateur se plaint de ne pas connaître la culture du lin ; un nombre restreint d'ouvriers, rapidement spécialisés, travailleraient pour la communauté.

Quel système les coopératives que nous souhaitons voir se former, adopteront-elles? Certainement elles auront recours à un procédé industriel qui offre l'avantage qu'il peut être appliqué en tous lieux et en tous temps ; en tous lieux parce que l'on n'a pas besoin de rivière pour rouir ; en tous temps parce que la température extérieure n'a plus à exercer son action. Le rouissage à l'eau chaude prévaudra-t-il sur le rouissage à l'eau surchauffée? Ce dernier demande plus de charbon ; mais il a l'avantage qu'il n'est plus nécessaire, pour le conduire, d'avoir un ouvrier exercé; un simple manœuvre suffit pour monter et maintenir une température déterminée pendant un temps donné; il n'a qu'à regarder le thermomètre et l'horloge.

L'adoption de ces procédés industriels entraîne nécessairement l'emploi d'appareils qui laissent assez loin derrière eux ceux de la Lys. Les pailles ne sont plus séchées, en chapelles, au soleil, quand il veut bien se montrer; elles sont essorées d'abord à la centrifuge, puis séchées dans une étuve à fort courant d'air chaud, sur des wagonnets qui s'approchent de la source de chaleur au fur et à mesure qu'elles se sèchent davantage; un séchoir de ce genre peut donner de 250 à 350 kg de paille sèche par heure. Ce ne sont plus des broies, des broyeurs à rouleaux cannelés et des moulins flamands ou irlandais, mais bien de puissantes machines, comme celle de M. Feuillette qui broie et teille en même temps, à Goderville (Seine-Inférieure). On nous signale également deux teilleuses automatiques, la « Swindeau », dite Boby (Tissage mécanique du Centre, 15, rue Taibout, Paris), et la « Swenska », dite Helsingen, chez Croquison, à Fécamp.

De gros efforts doivent donc être faits pour combler le déficit de notre approvisionnement en lin; la vulgarisation de la culture du lin présente certaines difficultés, il faut le reconnaître, mais personne n'osera prétendre qu'elles sont insurmontables. Quant au travail de ces lins, quand ils seront à pied d'œuvre, il n'est l'objet d'aucun inconnu ; il sera poursuivi industriellement ou ne le sera pas, et, en toute vraisemblance, l'usine sera coopérative, comme celle de Steenvoorde. A en juger par ce que nous connaissons déjà, l'usine ne devra pas avoir un rayon d'approvisionnement trop considérable et il ne serait pas prudent de dépasser la production de 600 ha, soit 4 à 5.000 qu par an.

Nous ne terminerons pas cette note sans remercier M. Albert Durand, secrétaire du Comité des fabricants de toile de Lille, pour les documents qu'il a bien voulu nous fournir.

Les Brasseries.

Il est inutile de dire l'importance que la bière possédait, de temps immémorial, dans le nord de la France. La consommation y représentait, avant la guerre, les deux tiers de la consommation française; la bière, fabriquée par les vieux procédés français dits « d'infusion » produisait une qualité de bière à laquelle la population du Nord était habituée et d'un prix d'achat que peu de consommateurs auraient consenti à dépasser.

Le nombre des brasseries était considérable, dont beaucoup, de très petite importance, ne dépassaient guère une production annuelle de 5.000 hl.

Sur 2.825 brasseries que l'on comptait en France quand la guerre a éclaté, 1.797, c'est-à-dire 60 p. 100 se sont trouvées dans les pays envahis par l'ennemi. Le département du Nord en possédait à lui seul 1.140, près des deux tiers; les autres se répartissaient dans le Pas-de-Calais, les Ardennes, l'Aisne, etc. Toutes ont été pillées de leurs appareils et spécialement de leurs appareils en cuivre, qui constituent d'ordinaire la grosse partie du matériel de nos brasseries; celle que les Allemands désiraient conserver pour assurer les besoins de leurs soldats, n'ont pas été plus épargnées à ce point de vue; les appareils en cuivre ont été remplacés par des appareils en tôle de fer, venus d'Allemagne. Dans les régions d'où l'ennemi a été obligé de se retirer précipitamment, les brasseries ont conservé leurs murs et sont restées debout; plusieurs ont reçu des obus de bataille; d'autres enfin, exposées plusieurs années sur la ligne de feu ont été complètement détruites. — Si on admet que la production moyenne de la bière représentait avant guerre, 18.000.000 hl, la production d'après guerre (1914-1918), 7.500.000 hl, n'atteint plus que 42 p. 100 de la production primitive. La brasserie française a perdu 58 p. 100 de sa production.

La brasserie, malgré les dommages dont elle a été victime, s'est aujourd'hui en partie reconstituée; ce qui ne l'est pas encore est en voie de l'être et le sera quand la population aura repris sa densité d'autrefois. C'est qu'au fur et à mesure que le pays se repeuple, l'habitant a soif et demande à boire. On n'a pas à attendre pour lui donner satisfaction que l'orge recouvre les champs bouleversés par les obus; on peut faire venir l'orge de très loin, car elle représente un poids plus faible que la bière qui en provient et il vaut mieux transporter de l'orge et du houblon que de transporter de la bière. Les frais de transport, en outre, engagent le fabricant à s'installer ou à se réinstaller dans le pays même où la bière est consommée et le consommateur boit de la meilleure bière, puisque le transport en altère la qualité. Il n'en est pas de même quand on envisage la reconstitution des sucreries et des distilleries. La betterave, c'est-à-dire la matière première, ne peut supporter de longs trajets sans grever les frais généraux, tandis que le sucre produit, qui représente 12 à 13 p. 100 de la betterave ou l'alcool, dont la quantité ne dépasse guère 6 p. 100, peut être consommé en dehors du rayon betteravier qui les a élaborés.

Avant la fin même de l'Armistice, le Syndicat des Brasseurs, dont le président était M. Courtin, organisa une « Commission technique de la Brasserie » auprès du « Comptoir central d'Achats industriels »; on sait que ce Comptoir agit

au nom de l'Office de Reconstitution industrielle (O. R. I.) créé par la loi du 6 août 1917; la Commission technique, sous l'impulsion et la direction de M. Boullanger, sous-directeur de l'Institut Pasteur de Lille, auquel je dois la plus grande partie des renseignements que je présente ici, commença à établir les bases de la reconstitution avant même que l'on pût songer à la réaliser. C'est elle qui sollicita les constructeurs pour qu'ils établissent des appareils standardisés, c'est-à-dire faits en série avec le minimum de frais (1).

La construction standardisée n'a pas été volontiers adoptée par ceux des brasseurs qui ont retrouvé leurs bâtiments incomplètement détruits; la place laissée par leurs appareils ne concordait pas en général avec la dimension de ceux qui leur étaient proposés; mais d'autres, même parmi ceux de cette catégorie, n'ont pas hésité à le faire, et ils y ont trouvé l'avantage de ne pas attendre le délai de livraison et de ne rien débourser, la livraison se faisant, sur les dommages de guerre, par l'intermédiaire du Comptoir central d'achats.

D'après M. Boullanger, 600 brasseries seraient aujourd'hui reconstituées; ce sont évidemment celles qui se trouvent dans les pays les moins atteints, d'abord parce qu'elles ont le moins souffert, et qu'ensuite elles sont entourées d'une population qui est vite rentrée dans ses foyers. D'autres, au nombre de 400 environ sont en cours de reconstruction.

Ce sont les conditions contraires qui ont éloigné de la reconstruction ceux qui, sur la zone du feu, ont tout perdu. La population ouvrière qui constituait la clientèle de la brasserie disparue se fixera-t-elle à l'endroit où elle vivait autrefois? et si le retour de la population se fait avant que la brasserie ne soit prête à fonctionner, n'y a-t-il pas à craindre qu'un voisin au delà de la limite de la ligne de feu, mieux placé par conséquent, ne vienne prendre et garder la clientèle?

Dans cette perspective, et pour pouvoir fournir aux populations, au fur et à mesure de leur rapatriement, on a vu des brasseurs, peu atteints, reconstituer leurs brasseries sur des bases quelquefois plus modestes qu'autrefois, puisque la population environnante avait diminué ou avait restreint sa consommation; mais ils ont eu soin d'aménager les bâtiments et les appareils de telle façon qu'ils puissent s'étendre le jour où la clientèle augmentera ou deviendra plus exigeante. Ils espèrent également fusionner avec d'autres brasseurs, plus éprouvés et qui n'ont pas commencé leur reconstitution.

Ces groupements qui réunissent les capitaux reçus par chacun des participants sous forme de dommages de guerre présentent un grand intérêt, et M. Boullanger m'a cité, dans cet ordre de faits, les grandes brasseries de l'Artois (région de Rœux), les brasseries réunies de Vaux-Vrocourt, les brasseries centrales du Cambrésis, à Cambrai, la brasserie centrale de Saint-Quentin, etc.... Toutes ces brasseries ont une capacité annuelle de production de 30.000 à 40.000 hl et leurs plans sont disposés pour annexer d'autres brasseries et fabriquer 100.000 hl et davantage. L'office de reconstitution industrielle m'a fait connaître que, dans la région de Maubeuge, 32 brasseries en groupent 73, et, dans le Pas-de-Calais, quatre brasseries en groupent 36. C'est là la loi inéluctable qui préside aujourd'hui au développement industriel. Chaque usine se voit obligée, sous peine de disparaître, de concentrer son travail, en absorbant celui du voisin, afin de diminuer ses frais généraux.

(1) *Ann. de Brasserie et de Distillerie*, 1919, p. 49.

La récupération du matériel volé n'a pas donné jusqu'ici de grands résultats; le cuivre a été fondu et utilisé par nos ennemis; on n'a guère repris que des fûts qui, portant encore les marques françaises, ont été faciles à découvrir; et encore leur mauvais état a entraîné des réparations coûteuses.

Les brasseurs sinistrés n'ont guère acheté de matériel en Allemagne, si ce ne sont des futailles et du matériel de cave. En général, la péréquation que les Allemands pratiquent à la sortie de leurs produits ne procure pas d'avantages au brasseur qui préfère se procurer le matériel chez des constructeurs français.

On n'a pas procédé au remplacement par équivalence, tant la réalisation des modalités prévues par le traité de Versailles offrait de difficultés.

Toutefois, il ne faut pas espérer que d'ici à de longues années, les départements reconstitués produiront autant de bière qu'autrefois. Les prix de l'orge, du charbon, de la tonnellerie, de la main-d'œuvre font que la bière n'est plus la boisson économique d'autrefois. D'autre part, la population s'est habituée au vin. Le nombre des estaminets a diminué, parce que la population est moins nombreuse et que la consommation de l'alcool est traquée, comme nous le verrons plus loin; or, c'était dans les estaminets que la plupart des brasseurs, qui en étaient les commanditaires, écoulaient leurs produits.

Sucreries et Distilleries de betteraves (1).

Les sucreries ont, depuis un siècle, suivi cette loi à laquelle je faisais allusion tout à l'heure, qui veut que chacune d'elles enfle sa capacité de production; en 1813, une sucrerie produisait en moyenne 10 t de sucre par an; en 1884, au moment où apparaissait une loi célèbre, appelée à régénérer l'industrie sucrière, chacune atteignait un chiffre moyen de production de 800 t et en 1910 de 3.680 t. Mais le nombre des usines avait, de 1884 à 1913 diminué dans la proportion de 500 à 210. Une usine produisait donc près de 5 fois plus en 1913 qu'en 1884.

Je pourrais faire la même observation à propos de la concentration du travail en distillerie. En 1854-57, les 500 distilleries de betteraves, montées sur l'initiative de Champonnois, produisaient, en moyenne, chacune 10 hl d'alcool; en 1913, il n'en restait plus que 320; mais chacune d'elles distillait en moyenne 4.870 hl, soit 80 fois plus qu'en 1854-57.

Pour produire les 772.000 t de sucre qui sont sorties, en 1913, de nos turbines françaises, il n'a donc pas fallu plus de 210 sucreries de betteraves; le canon et le pillage devaient ramener ce nombre à 70, soit 33 p. 100; les 70 usines demeurées intactes n'ont plus produit, dans la période 1914-1920, que 181.000 t en année moyenne; c'est dire que les Allemands ont condamné la sucrerie française à une perte de 591.000 t (77 p. 100), quantité supérieure à celle que le Syndicat des fabricants de sucre, l'Académie d'Agriculture, l'Association des chimistes de sucrerie ont inutilement réclamé du traité de Versailles. Un grand nombre de sucreries se trouvaient sur la ligne de feu et ont été complètement détruites. Quant aux sucreries situées au delà du front, les Allemands les ont, tout d'abord, fait travailler à leur compte, ou à compte commun avec le propriétaire; puis manquant de betteraves, ils ont trouvé plus simple de les déménager.

(1) Voir Pellet, *Ass. Chimistes de sucrerie et de distillerie*, 1920-21, p. 29.

Le nombre des distilleries travaillant, en 1914, betteraves, grains, mélasses, représentait 320 : près de 50 p. 100, exactement 152, sont tombées entre les mains de l'ennemi et ont été plus ou moins ruinées : sur ce nombre de 152, 124, c'est-à-dire plus de 80 p. 100, travaillaient la betterave, en général d'une façon exclusive. Mais de ce que la moitié de ces usines était immobilisée pour nous, il ne faudrait pas en déduire que la perte de l'approvisionnement général en betteraves n'a atteint qu'une quantité proportionnelle; les distilleries de Seine-et-Oise et de Seine-et-Marne qui, à elles seules forment les trois quarts des distilleries intactes, sont des établissements agricoles, c'est-à-dire intérieurs à la ferme, qui ne traitent que 20.000 à 50.000 kg de betteraves par jour, c'est-à-dire 2 ou 5 fois moins que ceux



Fig. 1. — Sucrerie de *Génermont* (Somme)[1].
A gauche : un générateur; au centre : débris informes.

qui ont été détruits, en sorte que la production annuelle est tombée de 2.246.000 hl (1904-1913), à 426.000 hl (1918-1920), soit une perte de 81 p. 100. La distillerie de betteraves, seule a passé, d'une production de 1.208.000 hl, à la production dérisoire de 265.000 hl, soit une perte de 78 p. 100. Comme les brasseries, comme les sucreries, les distilleries, qui n'ont pas été écrasées sous les obus, ont vu leurs appareils, leurs colonnes distillatoires, leurs réfrigérants prendre le chemin de l'Allemagne.

Les fabricants de sucre et les distillateurs ont-ils déjà, à l'exemple des brasseurs, accompli des efforts qui nous permettent de penser que ces deux industries tributaires de la culture betteravière seront un jour reconstituées? Je ne puis que faire une réponse pleine d'appréhension.

(1) Les photographies reproduites sur les figures 1 à 4 ont été prises par M. Léon Pellet, ingénieur-agronome, attaché à l'Office de Reconstitution industrielle.

Les premiers sont en proie à une grande incertitude du lendemain ; le gouvernement ne se décide pas à fixer le statut du sucre, et nos fabricants ne connaissent ni le droit de consommation, ni le droit protecteur dont leurs produits seront l'objet.

La sucrerie européenne et spécialement la sucrerie française est menacée par la sucrerie américaine. Les fabricants de Cuba ont, au cours de la guerre, connu le chemin de la France et ils cherchent dès à présent à réparer le déficit énorme que la spéculation des sucres a fait perdre à leurs actionnaires et à leurs banquiers; de quelle hauteur sera la barrière que la Douane élèvera contre eux?

Nous recevons en ce moment, à défaut du sucre allemand que le traité de Ver-



Fig. 2. — Sucrerie de *Flaucourt* (Somme).
A droite : deux caisses de l'appareil à évaporer, au centre, couché : un réchauffeur de jus.

sailles aurait dû nous fournir, 45.000 t de sucre polonais et 55.000 de sucre tchéco-slovaque; ce n'est là qu'une petite quantité par rapport à la production de la Pologne et de la Bohême. Le gouvernement mettra-t-il des droits sur le sucre provenant des pays que nous avons le devoir de protéger?

Aussi, si l'on excepte 7 usines, qui ont travaillé en 1920-1921, Abscon (arrondissement de Valenciennes), Ham (arrondissement de Péronne), Boistrancourt (arrondissement de Cambrai), etc., et 13 autres qui semblent pouvoir être remises en route pour la campagne 1921-1922, parce qu'elles ont exceptionnellement peu souffert, les sucreries françaises hésitent à commander les entrepreneurs et les constructeurs.

En tout cas, beaucoup de sucreries ne se reconstitueront pas sur le plan d'avant-guerre; il y avait, dans la Somme spécialement, dans l'arrondissement de Péronne, par exemple, beaucoup de petites sucreries, qui subsistaient, pour ainsi dire, comme biens de famille; le mouvement que nous suivons chaque année et qui tend à concentrer le travail dans un nombre toujours plus petit d'usines, ne les

avait pas touchées; munies d'un outillage arriéré, débitant une trop faible quantité de betteraves, ces sucreries travaillaient avec des frais généraux trop considérables pour pouvoir lutter, sous le rapport du prix de revient, avec celles qui s'étaient constamment agrandies; elles devront grouper leurs indemnités et leurs capitaux, si elles veulent remplir le rôle qu'elles ont tenu si longtemps à conserver. C'est ainsi que les 20 sucreries, dont il a été parlé plus haut, remplacent 32 anciens établissements et que d'autres groupements sont en projet, qui réuniront en une vingtaine d'usines 68 sucreries sinistrées.

Le 4 février dernier s'est tenue l'Assemblée constitutive d'un « Groupement de l'industrie sucrière française en reconstitution » qui a pour but de faciliter à ses



Fig. 3. — Sucrerie de *Fins Sorel* (Somme).
A gauche les débris de l'appareil à évaporer dont une caisse munie de son brise-mousse et le condenseur barométrique sont encore debout; à droite : la double chaudière à carbonates.

adhérents, fabricants de sucre et raffineurs, sinistrés, l'émission, sous la garantie de l'État, d'un emprunt de 10 millions de francs, destiné à aider la reprise de l'industrie sucrière. Le groupement est présidé par M. Delloye, président du Syndicat des fabricants de sucre, et compte déjà de très nombreux adhérents dont les noms sont connus et estimés dans le monde sucrier. Nous ne pouvons qu'applaudir à cet exemple de solidarité et à cette mesure d'intérêt général, qui peut avoir un très grand retentissement sur notre culture.

Le peu d'enthousiasme à reconstituer les usines ruinées se retrouve chez les distillateurs; mais, bien que dépendant encore des décisions du Parlement, leur incertitude relève d'un autre principe.

Par une loi du 30 juin 1916, prorogée d'abord jusqu'au 31 décembre 1921, puis jusqu'au 15 août de la même année, l'État s'est réservé l'achat et la vente, exclusivement, de tous les alcools d'industrie, c'est-à-dire de ceux qui sont produits au

moyen de betteraves, de mélasses et de substances farineuses, laissant libre le commerce des alcools de vin, de cidre, de marcs et de fruits. En outre l'État s'interdit de vendre ces alcools d'industrie pour la consommation de bouche.

Et voilà, de ce fait, un véritable coup de théâtre, dont l'agriculture et la distillerie agricole sont les victimes, mais qui, en paralysant l'évolution de l'alcoolisme, rend un immense service à la Nation. Avant la guerre, la consommation de bouche, sans cesse croissante, atteignait (moyenne 1907-1913) le chiffre formidable de 1.431.000 hl (compté en alcool à 100° G. L.), plus de 7,5 l. par tête et par an (compté en eau-de-vie à 50°) ! La consommation de bouche réduite aujourd'hui aux alcools, dits naturels (dont la production d'ailleurs a légèrement augmenté) n'est plus (moyenne 1917-1918) que de 691.100 hl; elle a donc diminué de 50 p. 100.



Fig. 4. — Sucrerie *de Marquillies* (Nord).
Tous les appareils ont été systématiquement enlevés, sans que les murs de la sucrerie aient été atteints par le canon.

Si l'on admet que la guerre n'a pas corrigé les buveurs d'alcool, il leur manquerait environ 750.000 hl qu'ils trouvaient autrefois dans l'alcool d'industrie. Que l'État lève l'interdit sur l'emploi des alcools d'industrie à la confection des eaux-de-vie et liqueurs, et immediatement on verra les distillateurs du Nord les moins atteints reconstituer leurs usines. Mais tout bon Français ne peut conseiller à l'État de le faire; les intérêts sociaux en jeu sont trop graves.

Sans doute les eaux-de-vie naturelles et les eaux-de-vie artificielles présentent la même nocivité; mais les premières seront toujours d'un prix plus élevé; on en produira moins et on en boira moins; tout au plus seront-elles bues par une classe mieux nourrie et qui n'abusera pas.

L'État se trouve donc en face d'une quantité d'alcool d'industrie qui n'est aujourd'hui que de 426.000 hl mais qui peut atteindre 2.246.000 hl et davantage, s'il trouve le ou les débouchés.

Ces 426.000 hl, il accepte qu'on les utilise dans les eaux-de-vie et liqueurs destinées à l'exportation; il facilite la fabrication des produits chimiques et pharmaceutiques, des poudres, du vinaigre d'alcool, des parfumeries; il encourage l'emploi de l'alcool dénaturé, mais ce sont là tous débouchés très limités, excepté peut-être celui de l'alcool dénaturé, qui s'était élevé, avant la guerre, d'une façon régulièrement croissante, à 512.000 hl et qui est tombé, en 1918, à cause de son prix élevé, à 71.000 hl seulement.

Il n'est pas impossible cependant que les choses se modifient sans que l'on soit entraîné à autoriser de nouveau les fidèles de l'alcool à boire de l'alcool d'industrie. Les distillateurs de betteraves, qui considèrent qu'ils ont autant que les distillateurs de vins droit à l'existence, demandent que l'État augmente encore la taxe sur les alcools de bouche et leur en verse le produit, afin qu'ils puissent vendre leurs alcools à la dénaturation à un prix moins élevé qu'aujourd'hui. Il ne faut pas oublier que les Allemands ont, au grand avantage de la distillerie et de l'agriculture, employé ce procédé. Alors, l'alcool dénaturé reprendra sa place dans le ménage, et le carburant national, qui paraît un mythe, en présence des prix actuels, pourra être réalisé, et se substituer à l'essence.

Que sera-t-il ce carburant? Il ne sera national que s'il emploie des produits français, des produits dont nous aurons la libre jouissance en cas de guerre, c'est-à-dire du benzol, que nous fabriquerons en quantité suffisante quand nos fours à récupération seront rétablis, et de l'alcool que la culture peut fournir en quantités illimitées.

Cet alcool sera-t-il concurrencé par l'alcool de synthèse, et le carbure de calcium viendra-t-il, dans le cas où le débouché à l'automobilisme se développerait, prendre la place de la betterave? Il faut reconnaître que, dans l'état actuel de l'industrie, la menace n'est pas pour aujourd'hui. Les derniers essais faits en France font supposer que l'alcool de synthèse ne peut pas être vendu moins de 4 f le litre, prix d'un quart au moins supérieur au prix de l'alcool de fermentation et nous avons appris récemment que la Société suisse, la Lonza, seule usine qui fabriquât de l'alcool synthétique, en a abandonné la fabrication.

Nous restons donc, quant à présent du moins, en face de la seule culture qui peut nous assurer le développement de la sucrerie et de la distillerie, et qui, si l'on ne prend pas de grand parti, va peut-être, sinon disparaître, du moins se restreindre dans une proportion de plus de 50 p. 100, et cela au grand préjudice de la culture du blé.

La vigne et l'œnologie.

La vigne doit à sa situation géographique d'avoir été la dernière envahie et de beaucoup la moins touchée parmi les cultures françaises. L'invasion allemande, atteignant par deux fois l'avant-garde des vignes champenoises, a, par deux fois été arrêtée sur la Marne. Les propriétaires de caves ont dû céder, malgré eux, quelques cent milliers de bouteilles de Champagne; mais nous savons qu'au début de septembre 1914, le vin qu'elles contenaient ont mis nos ennemis dans un état d'infériorité qui n'a pas été étranger à la victoire de nos soldats.

Un rapport de M. de Polignac, publié dans la *Revue de Viticulture*, nous apprend que la surface du vignoble champenois a diminué de 1914 à 1919 de 2.637 ha, soit

de 21 p. 100. Mais combien de vignes, abandonnées ou non soignées, sous la menace allemande! M. de Polignac annonce que 5.850 ha (dont les 2.637 qui ont été signalés plus haut) près de 50 p. 100 sont abandonnées, sont en cours d'arrachage ou doivent être arrachées, en sorte que la reconstitution portera sur plus de la moitié du vignoble champenois.

La fabrication du vin de Champagne subira sans aucun doute un grave préjudice du fait de la guerre; notre exportation représentait plus des trois quarts de notre production et nous comptions parmi nos clients les Allemands et surtout les Russes.

La viticulture méridionale, ainsi préservée, a sans aucun doute profité de la guerre; le vin s'est vendu à des prix dont on garde le souvenir, et malgré les dépenses qu'ils ont été obligés de faire pour les soins culturaux que la vigne réclame, pour la taille, les sulfatages, etc... les vignerons ont fait des bénéfices auxquels ils n'étaient plus habitués de longtemps. Mais ils ont sagement agi en utilisant leurs nouvelles ressources soit à reconstituer des vignes qui commençaient à vieillir quand la guerre s'est déclarée, soit à en planter de nouvelles; car la guerre a fait connaître le vin à bien des hommes qui n'en buvaient que peu, et l'interdiction de consommer des alcools autres que les alcools dits naturels, entraîne une production plus grande de vin; l'Algérie, paraît-il, se met en demeure d'augmenter son vignoble.

De tous ces faits exposés, je ne saurais tirer une conclusion véritable. Depuis plus de six ans, nous avons eu trop de déceptions dans nos espérances, pour qu'il nous soit permis de prévoir. Il suffira que, devant les faits acquis, les hésitants prennent confiance, tout en mesurant les difficultés qui les attendent, que l'État encourage, par tous les moyens dont il dispose, l'initiative privée ou collective, et, alors, notre industrie agricole, fortifiée par l'épreuve, travaillant avec moins de frais généraux, reprendra sa place au sein de l'activité nationale.

Mars 1921.

COMPTES RENDUS

DES SÉANCES DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT

CONSEIL D'ADMINISTRATION

SÉANCE PUBLIQUE

DU 5 MARS 1921

Présidence de M. L. BACLÉ, *président.*

La séance est ouverte à 17 h.

Est présenté pour devenir membre de la Société et admis séance tenante :

M. GLOVER (Stanley, Alfred), agent d'importation, Box n° 634, G. P. O., à Brisbane, Queensland (Australie), présenté par M. Lemaire.

M. BACLÉ, *président,* montre l'intérêt de la communication qui va être faite. La production en combustibles de notre pays est, et restera longtemps encore, déficitaire; le charbon est le « pain quotidien » de l'industrie. Il importe de l'utiliser aussi économiquement que possible. L'Office central de Chauffe rationnelle, créé vers la fin de la guerre, sur l'initiative de M. Loucheur, alors ministre de l'Armement, s'est donné pour tâche de rechercher les économies de combustible réalisables dans tous les appareils utilisant des calories et de montrer comment elles peuvent être réalisées. Le soin de cette tâche ne peut être confié au personnel technique et directeur des usines, qui a d'ailleurs d'autres tâches à remplir. Il y faut des spécialistes compétents et exercés, connaissant bien certains instruments perfectionnés et délicats dont le maniement ne s'apprend pas en quelques jours et qui, d'ailleurs, ne doivent servir que rarement dans une même usine. C'est pourquoi, un organisme comme l'Office central de Chauffe rationnelle, dirigé par notre conférencier de ce soir, est appelé à rendre de très grands services aux industriels qui recourront à lui. C'est la raison qui a déterminé la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale à patronner et à subventionner cet Office pour aider à la réalisation de l'Exposition qu'il

organise et qui se tiendra dans ses locaux, 5, rue Michel-Ange (16e), tous les jours du 12 mars inclus au 26 mars inclus, de 14 h. à 18 h. 30 m.

Les visiteurs de cette exposition y verront en fonctionnement des instruments que M. Frion ne fera que nous décrire ce soir ou qu'il ne pourra que nous montrer.

M. Paul Frion, ingénieur-directeur de l'Office central de Chauffe rationnelle, fait une communication sur *le contrôle de la chauffe et les appareils de mesure servant à ce contrôle.*

Tous ceux qui ont étudié le problème d'une meilleure utilisation des combustibles sont d'accord pour reconnaître que, dans la plupart des appareils industriels, de fortes économies sont réalisables mais à la condition de recourir à la méthode scientifique pour l'étude, la conduite et le contrôle du chauffage. Cette étude ne peut être bien faite, en général, que par un personnel spécialisé. La conduite de la chauffe, une fois que les conditions optima de cette chauffe ont été déterminées par ce personnel, peut être confiée ensuite au personnel ordinaire de l'usine, préalablement instruit des conditions à réaliser. D'où deux stades dans chaque cas particulier :

1° Établissement du bilan calorifique de l'appareil industriel soumis à l'étude et cela, dans les conditions de marche actuelles; puis, établissement du bilan calorifique idéal, réalisable, en apportant à l'appareil étudié les modifications ou améliorations jugées possibles;

2° Fixation des conditions de marche nouvelles résultant de l'étude des bilans calorifiques précités et de l'adoption des modifications apportées à l'appareil à la suite de cette étude, et contrôle permanent de la nouvelle conduite de la chauffe ainsi déterminée.

Le premier problème se résout différemment selon les résultats à obtenir dans l'appareil de chauffage, par exemple selon que l'atmosphère doit être oxydante, neutre ou réductrice. La considération des bilans calorifiques réel et idéal, du prix du combustible et des produits fabriqués et des frais d'établissement des nouvelles installations nécessitées par les modifications désirables permet de chiffrer exactement ces frais d'établissement, leurs frais d'entretien, de savoir si l'adoption des nouvelles installations se traduira par un bénéfice ou non, et de chiffrer ce bénéfice.

La résolution du problème comporte l'emploi d'instruments de mesure précis, utilisés par le personnel spécial précité : analyseurs de gaz et de combustible, mesureurs de débit, mesureurs de pression, etc. Dans la plupart des cas, ces instruments sont assez robustes et assez maniables pour pouvoir constituer une trousse relativement peu encombrante. Ces mêmes instruments, ou mieux, d'autres, plus simples et d'un maniement plus commode, sont mis ensuite à la disposition du personnel de l'usine pour la conduite et le contrôle permanent de la chauffe. Il suffit souvent que ces instruments soient simplement à indications momentanées pour le personnel chauffeur, mais il est indispensable qu'ils soient à enregistrement pour le personnel directeur de l'usine, ce qui permet à celui-ci de s'assurer que les instructions données aux chauffeurs sont bien observées. Cela permet de faire béné-

ficier les bons chauffeurs, par le moyen de primes par exemple, d'une partie des économies qu'ils ont contribué à réaliser.

Le conférencier décrit sommairement les principaux instruments employés soit à l'étude, soit à la conduite ou au contrôle de la chauffe. Il en montre les avantages et les inconvénients car, dans cet ordre d'idées, on n'a pas encore toujours réalisé ce qui est désirable. Il donne quelques exemples de bilans calorifiques (chaudière à vapeur; poêle d'appartement; gazogène; four à cuire ou à chauffer; récupérateur de chaleur; moteur à gaz; canalisations de fluides chauds; colonne de concentration à acide nitrique; convertisseur Bessemer) qui font ressortir l'importance des pertes évitables de calories. Il cite aussi quelques exemples d'amélioration du rendement de la chauffe dans un des cas concrets dont l'étude a été confiée à l'Office central de Chauffe rationnelle après que les ingénieurs des usines intéressées avaient déjà apporté cependant toutes les améliorations reconnues par la pratique. Ces exemples font ressortir l'intérêt de ne pas s'en rapporter à soi-même, sans éducation préalable, du soin d'améliorer le rendement des appareils de chauffage.

La situation de notre pays, impose à tous les industriels consommateurs de charbon le devoir de rechercher l'économie maximum de combustible dans leurs installations, par conséquent de recourir aux services d'organismes bien outillés qui se sont spécialisés dans cette recherche.

E. L.

M. Baclé, *président*, remercie M. Frion de son intéressante communication. Parmi les nombreux instruments qu'il a décrits sans pouvoir les montrer, quelques-uns ne sont pas entièrement nouveaux, mais presque tous sont fort ingénieux, commodes, précis et sont vraiment une révélation pour la plupart d'entre nous. Il y a donc intérêt pour les techniciens à visiter l'Exposition de l'Office central de Chauffe rationnelle afin de voir ces instruments de plus près, en détail et en fonctionnement : les visiteurs se rendront ainsi un compte exact des services que peut rendre cet Office.

La séance est levée à 18 h. 15 m.

SÉANCE PUBLIQUE

DU 12 MARS 1921

Présidence de M. L. Baclé, *président*.

La séance est ouverte à 17 h.

Sont présentés pour devenir membres de la Société et admis séance tenante :

M. Beaufils (Fernand), Ingénieur des Arts et Métiers, ingénieur-archi-

tecte, 30, boulevard Gambetta, Saint-Quentin (Aisne), présenté par MM. Pierre Flamant et Lemaire;

La Bibliothèque de la Faculté de Pharmacie de Paris, 4, avenue de l'Observatoire, Paris (6ᵉ), présentée par MM. Moureu et Daniel Berthelot.

M. Baclé, *président.* — J'ai le regret de vous annoncer la mort de notre collègue du Conseil, **M. Jules Armengaud jeune**, membre du Comité des Arts économiques qui s'est éteint le 6 mars, à l'âge de soixante-dix-neuf ans. Son grand âge et la maladie l'avaient tenu éloigné de nos réunions dans ces dernières années, mais il continuait à nous faire profiter de ses conseils et de la longue expérience qu'il s'était acquise dans les questions de brevets et de propriété industrielle. Ancien élève de l'École polytechnique, il fut tout naturellement amené à prendre la succession de son père à la tête de son cabinet d'ingénieur-conseil. Sa profession le conduisit à s'occuper de toutes les branches de l'industrie. Son érudition était des plus variées et des plus étendues. Autrefois, membre assidu des congrès nationaux et internationaux consacrés à la propriété industrielle, il a pris personnellement une grande part à l'évolution de la législation internationale en matière de propriété industrielle. Il fut notamment l'inspirateur du « délai de priorité » qui, inscrit dans la Convention d'Union internationale de 1883, successivement développé et étendu, donne à l'inventeur d'un pays unioniste, un délai d'un an à partir du dépôt d'une première demande, pour prendre ses brevets dans les autres pays de l'Union.

Appelé par ses collègues à la présidence de l'Association des Ingénieurs-conseils en matière de Propriété industrielle, il y rendit de grands services; il a été également président de l'Association française pour la Protection de la Propriété industrielle. Son activité ne se limitait pas aux occupations cependant absorbantes de son cabinet d'ingénieur. Il aborda les sujets les plus variés : il fut un des pionniers de l'aviation et de l'aérostation, et consacra à cette science nouvelle de nombreuses études. C'est à ce titre qu'il a été président de la Société de Navigation aérienne. Il fut aussi journaliste à ses heures, et remplit avec distinction pendant quelques années le mandat de conseiller municipal de la ville de Paris.

Notre regretté collègue, M. Jules Armengaud jeune était chevalier de la Légion d'honneur; il laissera à tous ceux qui l'ont approché le souvenir d'un homme érudit, à l'esprit toujours en éveil, dévoué à ses amis et d'une grande bienveillance.

Nous adressons au fils de notre regretté collègue l'expression de notre très vive condoléance.

M. Baclé, *président*, annonce qu'il a assisté aujourd'hui même comme

représentant de notre Société, à l'inauguration de l'Exposition de l'Office central de Chauffe rationnelle, patronnée par la Société d'Encouragement, qui s'est ouverte au siège social de cet Office, 5, rue Michel-Ange, Paris (16e) et qui durera jusqu'à samedi 26 mars. Il engage vivement nos collègues à visiter cette exposition; ceux qui ont entendu M. Frion, ici même, il y a huit jours, ont pu se faire une idée de l'intérêt qu'elle présente.

M. Baclé, *président*. — Vous allez entendre la conférence que M. Louis Gaumont veut bien nous faire aujourd'hui sur la reproduction de vues animées en couleurs. Je n'ai pas besoin d'insister auprès de vous sur l'intérêt exceptionnel de cette conférence qu'atteste déjà si bien l'affluence des auditeurs, mais je tiens à remercier M. Gaumont d'avoir bien voulu nous en donner la primeur, comme il l'a fait précédemment lorqu'il a exposé ici même, à deux reprises différentes, les solutions imaginées par lui pour compléter les vues cinématographiques et en faire en quelque sorte la reproduction adéquate des faits de la vie en les dotant de la parole et de la couleur.

Le 28 avril 1911. M. Gaumont nous présentait en effet le film parlant et plus tard, en février 1913, la cinématographie en couleurs naturelles obtenues par le procédé trichrome.

Ces deux belles conférences dont vous n'avez certainement pas perdu le souvenir, marquent ainsi les étapes des progrès réalisés dans l'industrie cinématographique, et en nous rappelant, d'autre part, que c'est encore devant notre Société, dans cette salle, que le cinématographe a été présenté en public pour la première fois, il y a vingt-six ans, le 22 mars 1895, nous sommes heureux de pouvoir dire que notre Société a été associée à la recherche des progrès principaux dont la cinématographie a été l'objet, et que l'histoire de cet art nouveau qui a conquis si rapidement la faveur générale sera consignée en grande partie dans nos publications.

En ce qui concerne la reproduction exacte des couleurs naturelles par le cinéma, déjà, en 1913, M. Louis Gaumont était arrivé à une solution satisfaisante dont il nous a fait connaître les premiers résultats. Cependant, il ne s'est pas cru satisfait. Il a apporté à cette nouvelle invention des perfectionnements qui en font vraiment un appareil d'usage courant, industriel, notamment en ce qui concerne le repérage quasi automatique des trois vues colorées projetées sur l'écran.

Vous vous rendrez compte vous-mêmes de la perfection des résultats qu'il a obtenus. Si la guerre n'était pas venue interrompre le cours de ses travaux, et n'avait pas orienté son activité vers des tâches plus urgentes, nous l'aurions entendu probablement cinq ou six ans plus tôt.

M. Louis Gaumont fait une communication sur le *cinématographe en couleurs naturelles par le procédé trichrome.*

Le conférencier rappelle d'abord les principes du cinématographe.

Le procédé trichrome consiste à prendre simultanément trois clichés du sujet à reproduire, chacun d'eux étant pris à travers un filtre coloré d'une des trois couleurs dites fondamentales et qui sont ici : le violet bleu, le vert jaune et le rouge orangé.

Chaque filtre ne laisse passer que les couleurs du sujet qui lui sont propres. On obtient donc ainsi trois négatifs en noir et blanc desquels on tire des diapositifs.

Si on plaçait ces trois diapositifs dans une lanterne de projection spéciale. munie de trois objectifs, pourvus chacun de son filtre coloré, et si on superposait exactement les trois images qu'ils donnent, bien que les clichés soient noirs et blancs, ils reproduiraient fidèlement le sujet avec toutes ses couleurs et demi-teintes, y compris le blanc pur.

Pour obtenir le cinéma en couleurs, il suffira donc de prendre successivement trois vues du même sujet à travers les filtres colorés comme il vient d'être dit, à raison de seize images par seconde, puis d'en projeter, à la même périodicité, les diapositifs correspondants disposés successivement et dans le même ordre pour les trois couleurs sur un même film, et cela, à travers les filtres colorés placés devant leurs objectifs respectifs.

Les difficultés de réalisation étaient nombreuses :

1° Le choix des trois couleurs, de façon à panchromatiser correctement le film négatif, c'est-à-dire à le rendre également sensible aux rayons lumineux traversant les trois filtres. M. Gaumont a réussi, grâce notamment au choix judicieux des trois couleurs fondamentales;

2° La vitesse nécessitée par les seize changements par seconde d'une longueur de film correspondant à la hauteur de trois images de 20 mm, format ordinaire, était trop grande et provoquait la rupture des bords des perforations qui servent à l'entraînement du film. Il a fallu réduire la hauteur des images à 14,25 mm. Le nouveau format, $14{,}25 \times 25$ mm, convient particulièrement aux vues panoramiques et aux scènes de genre;

3° La nécessité d'employer des objectifs de grand diamètre et bien corrigés, pour avoir des vues lumineuses;

4° La superposition exacte sur l'écran des trois images colorées, car leur convergence varie avec la distance à laquelle les vues ont été prises et celle à laquelle elles sont projetées. Ces deux distances sont essentiellement variables. A cet effet, chaque objectif peut être déplacé dans tous les sens par un bouton de réglage, mais le projectionniste, placé près de sa lanterne et ébloui, ne peut, surtout à distance, surveiller la superposition des projections colorées. Aujourd'hui, cette coïncidence est assurée à distance : un aide, placé près de l'écran qu'il surveille, manœuvre lui-même les boutons de réglage au moyen d'une commande électrique. Il lui suffit d'agir sur deux manettes dont chacune correspond à une projection colorée qu'on amène sur la troisième qui est fixe. On peut se passer de cet aide en recourant à l'emploi d'un correcteur électrique automatique. Le conférencier ne le décrit pas parce que l'invention fait actuellement l'objet d'une prise de brevets à l'étranger, mais le problème est entièrement résolu pour notre pays.

M. L. Gaumont fait passer différentes vues colorées, montre que la reproduction des couleurs naturelles est exacte par comparaison avec un modèle vivant qui a figuré comme personnage principal dans un film qu'il présente. C'est la reconstitution d'une scène romaine due aux travaux de M. Jacques Ruppert.

M. Gaumont provoque à dessein la non-coïncidence des trois couleurs sur l'écran pour montrer comment et combien vite elle se corrige. Il fait remarquer la sensation de relief observée quand les objets se déplacent devant l'objectif à des vitesses différentes et dans des plans différents. Il termine en montrant les difficultés techniques et financières que rencontre encore actuellement l'édition régulière et continue de films cinématographiques en couleurs, destinés à donner satisfaction au public, habitué maintenant à un changement de programme toutes les semaines dans les établissements de spectacles cinématographiques.

E. L.

M. Baclé, *président*, remercie Me Herlinson et M. Jacques Ruppert, les deux artistes collaborateurs de M. L. Gaumont pour la reconstitution des scènes antiques. Il rappelle que M. Ruppert, artiste-peintre, n'a pas craint, à un âge avancé, d'étudier plusieurs langues mortes pour rechercher dans les textes mêmes des indications sur les procédés qu'employaient les anciens, les Orientaux notamment, en vue d'obtenir dans le vêtement, la parure, l'armement, le mobilier, l'habitation, certains effets artistiques dont la littérature ne nous donne qu'un faible aperçu. Il a réussi au delà de toute espérance : les moyens étaient très simples, mais ceux qui les employaient étaient des artistes qui savaient en tirer un très grand parti. M. Baclé félicite M. L. Gaumont, toujours si préoccupé du côté artistique et éducateur de la cinématographie, d'avoir permis, grâce à l'aide matérielle qu'il a apportée à M. Ruppert, de faire ressusciter en quelque sorte, sous nos yeux, cette vie antique, lointaine sans doute, mais qui nous touche tant et à laquelle aucun Français ne reste indifférent. Grâce à lui, nous avons eu l'illusion d'assister au développement de films antiques qui auraient été retrouvés dans les fouilles de Pompéi par exemple. Il le remercie enfin de l'ardeur et de la persévérance qu'il met à perfectionner l'industrie du cinéma, née en France, et de façon que notre pays, par ses progrès incessants, reste à la tête de l'industrie cinématographique.

Permettez-moi aussi d'adresser des remerciements, au nom de notre Société, à M. Larivière président de notre Comité des Constructions et Beaux-Arts. C'est à son infatigable activité pour nous faire connaître toutes les nouveautés qui sont du ressort du Comité qu'il préside que nous devons d'avoir entendu ce soir M. Gaumont et d'avoir vu les admirables films qui viennent de passer sous vos yeux.

La séance est levée à 18 h. 30 m.

BIBLIOGRAPHIE

Les méthodes modernes de la résistance des matériaux, par M. BERTRAND DE FONTVIOLANT, Professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures. 2[e] édit. In-8 (25 × 16 cm) de 104 p., avec 11 fig. Paris, Gauthier-Villars et C[ie], 1920.

L'ouvrage de M. de Fontviolant, l'éminent professeur à l'École centrale, est relativement très court, 102 pages, mais il est remarquablement substantiel.

Je crois devoir rappeler qu'on sait démontrer par l'expérience et dans un certain nombre de cas par des raisonnements, basés uniquement sur la proportionnalité des déformations aux tensions, que dans les tiges les tensions tendent rapidement à se répartir suivant les lois simples que la résistance des matériaux à ses débuts a admis empiriquement et à titre de simplification. Il en résulte que dans un système formé de barres assez longues par rapport à leurs dimensions transversales, on peut, avec une approximation suffisante, appliquer uniquement la résistance des matériaux au calcul des relations entre les déformations et les forces extérieures qui sollicitent les extrémités de chaque pièce.

Ce sont les perfectionnements modernes des méthodes qu'on peut en déduire pour le calcul des réactions entre les différentes pièces d'une charpente, méthodes auxquelles il a apporté une importante contribution qu'expose M. de Fontviolant dans son ouvrage. Des explications dont on voudra bien, j'espère, excuser la longueur eu égard à l'importance du sujet, sont nécessaires pour bien faire apprécier les progrès accomplis et l'intérêt pratique des méthodes nouvelles.

La détermination des déplacements élastiques et calorifiques et le calcul des forces de liaisons dans les systèmes hyperstatiques sont deux des problèmes les plus importants de la résistance des matériaux.

Les méthodes habituellement utilisées pour cet objet sont d'ordre géométrique et cinématique.

En ce qui concerne les *systèmes plans*, elles se traduisent par :

1° Les formules de Bresse, exprimant les déplacements élastiques et calorifiques d'une pièce soumise à la flexion plane ;

2° Des formules exprimant ces mêmes déplacements dans les systèmes réticulaires plans sollicités par des forces agissant dans leur plan.

Il est à remarquer que chacune de ces deux catégories de formules exige une démonstration particulière.

En ce qui concerne les *systèmes à trois dimensions*, l'emploi de la geométrie et de la cinématique donne lieu à des difficultés et des complications telles que les auteurs ont, en général, éludé ces difficultés et ces complications par l'introduction, dans les calculs, d'hypothèses non justifiées qui enlèvent toute valeur aux résultats ainsi obtenus ; c'est le cas notamment des ponts en poutres droites et des ponts en

arcs soumis à l'action du vent, des ponts circulaires et des ponts à poutres continues polygonales.

On voit, par ce qui précède, que la géométrie et la cinématique ne permettent pas de constituer une méthode générale de résolution des problèmes d'élasticité.

Le théorème des forces vives et surtout le principe des travaux virtuels se prêtent mieux à l'étude de ces problèmes.

C'est au moyen du théorème des forces vives que Castigliano a établi la proposition remarquable qu'il a appelée théorème des dérivées du travail et qui a pour corollaire le théorème du travail minimum, du général Menabrea. De ces deux théorèmes Castigliano a tiré des méthodes de calcul des déplacements élastiques et des forces de liaisons surabondantes (1).

Le principe des travaux virtuels a été utilisé, pour la première fois, en résistance des matériaux, par Mohr (2), pour la détermination des efforts dans les systèmes articulés plans, à barres surabondantes. Depuis, ce principe a été appliqué à d'autres systèmes de construction, par divers auteurs, notamment par Muller-Breslau (3).

Enfin, au moyen de ce même principe, M. Bertrand de Fontviolant a établi ce qu'il a appelé l'*équation générale de l'élasticité* (4), dont il a donné récemment une autre démonstration (5) fondée sur le théorème des forces vives.

Cette équation synthétise toute la théorie des déplacements élastiques et calorifiques en résistance des matériaux. Elle est à cette science ce qu'est à la mécanique rationnelle la formule générale de la dynamique, de Lagrange. Il en découle immédiatement une méthode générale de calcul des déplacements élastiques et calorifiques et une méthode générale de détermination des forces de liaisons dans les systèmes hyperstatiques, soumis à des forces extérieures quelconques ainsi qu'à des actions calorifiques, que ces systèmes soient plans ou à trois dimensions. Ces méthodes conduisent aux résultats cherchés d'une façon pour ainsi dire automatique.

Le beau théorème auquel Betti, Maurice Lévy et M. Boussinesq ont attaché leur nom est une conséquence directe de cette équation. Ce théorème a pour corollaires les principes de réciprocité de Maxwell d'où M. de Fontviolant a déduit une méthode générale de détermination des *lignes d'influence* dans les poutres droites ou en arcs, pleines ou à treillis, astreintes à des conditions surabondantes (6).

L'équation générale de M. de Fontviolant, lui a donné le moyen d'établir des méthodes exemptes de toute hypothèse autre que les hypothèses fondamentales de la résistance des matériaux, pour le calcul des ponts en arcs et des ponts en poutres droites, à une seule travée et à travées continues, soumis à l'action du vent (7), pour le calcul des ponts circulaires à une seule travée et à travées continues (8) et,

(1) Castigliano, *Nouvelle théorie de l'équilibre des systèmes articulés* (Actes de l'Académie de Turin, 1875). *Théorie de l'équilibre des systèmes élastiques*, Turin, 1879.

(2) *Zeitschrift der Architecten-und Ingenieur-Vereins zu Hannover*, 1874.

(3) *Die methoden der Festigkeitslehre und Statik der Baukonstructionen*, 1886.

(4) *L'équation générale de l'élasticité des constructions et ses applications* (Bulletin de la Société des Ingénieurs civils de France, octobre 1907).

(5) *Les méthodes modernes de la Résistance des matériaux*, 1918 et 1920.

(6) *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils de France*, novembre 1890.

(7) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 18 février et 18 mars 1918.

(8) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 16 février, 29 mars, 6 et 27 décembre 1920 et *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils de France*, juillet-septembre 1920.

enfin, pour le calcul des efforts développés dans les ponts à deux voies, lorsqu'une seule voie est surchargée (1). Ces méthodes utilisent le principe général suivant, dû également à M. de Fontviolant : *Dans une construction formée de systèmes plans et sollicitée par des forces extérieures appliquées dans les plans de ces systèmes, les actions mutuelles de deux systèmes sont dirigées suivant la droite d'intersection des plans de ces deux systèmes.*

L'équation générale de M. de Fontviolant lui a permis de montrer (2) que, par un moyen très simple, qu'il avait d'ailleurs indiqué précédemment (3), on peut tenir compte, dans les épures de la statique graphique des arcs, des déformations dues à l'effort normal et à l'effort tranchant négligées dans le magistral traité de Maurice Lévy.

Les méthodes géométriques et cinématiques, dans le domaine des systèmes plans, qui, seul, leur est en général, pratiquement accessible, entraînent souvent à des calculs assez laborieux, en raison de l'introduction inévitable d'inconnues auxiliaires, sous forme de déplacements linéaires ou angulaires. Les calculs découlant de l'équation générale sont, ordinairement, sensiblement plus rapides ; il n'y intervient, en effet, aucune inconnue auxiliaire.

Voici, à ce sujet, un exemple comparatif.

Proposons-nous de *calculer le déplacement vertical d'un point quelconque d'un arc à trois rotules, soumis à des charges quelconques situées dans le plan de la ligne moyenne de cet arc.*

Pour abréger, nous négligerons les déformations dues à l'effort normal et à l'effort tranchant, ce qui n'altérera d'ailleurs en rien la conclusion à tirer de la comparaison que nous avons en vue.

I. — *Application des formules de Bresse.* — Les formules de Bresse, exprimant les composantes rectangulaires u_1 et v_1 du déplacement d'un point quelconque d'une pièce soumise à la flexion plane, sont

$$u_1 = u_0 + \varphi_0(y_1 - y_0) - \int_{s_0}^{s_1} \frac{M(y_1 - y)}{EI} ds,$$

$$v_1 = v_0 - \varphi_0(x_1 - x_0) + \int_{s_0}^{s_1} \frac{M(x_1 - x)}{EI} ds.$$

Soient :

l la corde de l'arc, f sa flèche;

G le point dont on se propose de calculer le déplacement vertical v_C;

x_C l'abscisse de ce point;

φ_A et φ_B les rotations des sections situées immédiatement à droite des rotules A et B;

u_B et v_B le déplacement horizontal et le déplacement vertical de la rotule B.

Les formules de Bresse donnent

$$(1) \qquad u_B = \varphi_A f - f \int_A^B \frac{M}{EI} ds + \int_A^B \frac{My}{EI} ds,$$

$$(2) \qquad v_B = -\varphi_A \frac{l}{2} + \frac{l}{2} \int_A^B \frac{M}{EI} ds - \int_A^B \frac{Mx}{EI} ds,$$

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 8 avril 1918.
(2) *Les méthodes modernes de la Résistance des matériaux*, 1918, 1920.
(3) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 31 mars 1890 et *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils de France*, avril 1890.

(3) $$0 = u_B - \varphi_B f + \int_B^C \frac{My}{EI} ds,$$

(4) $$0 = v_B - \varphi_B \frac{l}{2} + l \int_B^C \frac{M}{EI} ds - \int_B^C \frac{Mx}{EI} ds,$$

(5) $$v_G = - \varphi_A x_G + \int_A \frac{M(x_G - x)}{EI} ds.$$

En éliminant u_B entre (1) et (3) et v_B entre (2) et (4), on obtient

$$\varphi_A f - \varphi_B f - f \int_A^B \frac{M}{EI} ds + \int_A^C \frac{My}{EI} ds = 0,$$

$$- \varphi_A \frac{l}{2} - \varphi_B \frac{l}{2} + \frac{l}{2} \int_A^C \frac{M}{EI} ds + \frac{l}{2} \int_B^C \frac{M}{EI} ds - \int_A^C \frac{Mx}{EI} ds = 0.$$

De ces deux dernières équations on tire

$$\varphi_A = - \frac{1}{2f} \int_A^C \frac{My}{EI} ds + \frac{1}{l} \int_A^C \frac{M(l-x)}{EI} ds.$$

En portant dans (5) cette expression de φ_A, on a finalement

$$v_G = - \frac{x_G}{l} \int_A^C \frac{M(l-x)}{EI} ds + \int_A^G \frac{M(x_G - x)}{EI} ds + \frac{x_G}{2f} \int_A^C \frac{My}{EI} ds.$$

Et cette formule peut s'écrire

$$v_G = - \frac{l - x_G}{l} \int_A^G \frac{Mx}{EI} ds - \frac{x_G}{l} \int_G^C \frac{M(l-x)}{EI} ds + \frac{x_G}{2f} \int_A^C \frac{My}{EI} ds.$$

II. — *Application de l'équation générale de M. de Fontviolant.* — D'après cette équation générale le déplacement vertical du point G (que nous désignerons par λ, pour conserver les notations adoptées dans cette équation), a pour expression immédiate

$$\lambda = \frac{1}{\mathcal{F}} \int_A^C \mathfrak{M} \frac{M}{EI} ds,$$

si on fait abstraction, comme précédemment, des déformations dues à l'effort normal et à l'effort tranchant.

Dans cette formule $\mathfrak{M}$ désigne le moment de flexion produit en un point quelconque K de l'arc, par une *force auxiliaire* verticale $\mathcal{F}$, appliquée au point G (fig. 2). Ce moment est donné par la formule

$$\mathfrak{M} = \mu - qy,$$

dans laquelle y désigne l'ordonné du point K considéré, q la poussée de l'arc soumis à la force $\mathcal{F}$ et μ le moment de flexion qui serait produit au point K', correspondant à K, d'une poutre droite reposant sur deux appuis simples A' et C' et soumise à la force $\mathcal{F}$ (fig. 3).

Par suite

$$\lambda = \frac{1}{\mathcal{F}} \left(\int_A^C \mu \frac{EI}{M} ds - q \int_A^C \frac{My}{EI} ds \right).$$

Mais, dans l'arc à trois rotules soumis à la force $\mathcal{F}$, on a

$$q = \frac{\mathcal{F} x_G}{2f}.$$

Et dans la poutre A'C', également soumise à la force $\mathcal{F}$, on a

en tout point K' situé entre A' et G', $\mu = \frac{\mathcal{F}(l - x_G)}{l} x$,

en tout point K' situé entre G' et C', $\mu = \frac{\mathcal{F} x_G}{l}(l - x)$.

Substituons ces expressions de q et de μ, dans celle de λ, en ayant égard à leurs limites de validité; il vient

$$\lambda = \frac{l - x_G}{l} \int_A^G \frac{Mx}{EI} ds + \frac{x_G}{l} \int_G^C \frac{M(l - x)}{EI} ds - \frac{x_G}{2f} \int_A^C \frac{My}{EI} ds.$$

Cette expression est, au signe près, identique à celle de V_G. Cette inversion de signe provient de ce que V_G a été compté positivement dans le sens ascendant, tandis que, la force auxiliaire $\mathcal{F}$ étant de sens descendant, λ se trouve avoir été compté positivement dans le sens descendant.

La comparaison qui vient d'être faite montre que l'équation générale de M. de Fontviolant est d'un emploi plus avantageux que les formules de Bresse. L'avantage en faveur de cette équation générale est encore plus marqué si, au lieu de l'arc à trois rotules considéré précédemment, il s'agit d'un arc ABCDE (fig. 4), encastré à ses deux extrémités et comportant trois rotules intermédiaires B, C, D (arcs du pont de la Roche-Bernard et du pont d'Austerlitz, pour la traversée de la Seine par le chemin de fer métropolitain). Dans ce cas, en effet, le calcul, au moyen des formules de Bresse, du déplacement vertical d'un point quelconque, situé entre les deux rotules B et D, nécessite l'écriture de dix équations renfermant neuf inconnues auxiliaires, savoir : les rotations des sections situées immédiatement à droite des trois rotules et les déplacements horizontaux et verticaux de ces trois rotules.

Pour achever la comparaison entre les méthodes géométriques et cinématiques et celles découlant immédiatement de l'équation générale ci-dessus, il convient de signaler qu'en ce qui concerne non seulement les systèmes à trois dimensions, mais aussi certains systèmes plans, l'application de la géométrie et de la cinématique, si elle n'est pas absolument inopérante, donne lieu à de sérieuses difficutés; il en est ainsi du calcul des efforts dans une poutre à treillis double, ne comportant de montants verticaux que sur les appuis seulement; l'équation générale de M. de Fontviolant lui a permis de traiter cette question (1) qui n'avait pas encore été résolue.

Il reste à comparer l'équation générale de M. de Fontviolant et le théorème de Castigliano.

Cette équation générale met en compte immédiatement et simultanément les effets élastiques et les effets calorifiques. Le théorème de Castigliano concerne exclusivement les effets élastiques, de sorte que les méthodes de cet ingénieur

(1) *Le Génie civil*, 8 janvier 1921.

nécessitent un calcul spécial de ces derniers effets. Toutefois, par une interprétation de formules déduites de l'équation générale ci-dessus, M. Ernest Flamard a montré (1) que le théorème de Castigliano s'étend au cas où les déformations sont à la fois élastiques et calorifiques, à condition d'y remplacer le potentiel interne du système déformé, par ce potentiel augmenté d'une intégrale qui dépend des variations de la température et de l'effort normal.

Ce mode d'extension relevant du principe des travaux virtuels n'est pas en harmonie avec la démonstration du théorème de Castigliano qui relève du théorème des forces vives. M. de Fontviolant a montré que cette extension peut également se faire au moyen de ce dernier théorème (2); il y est parvenu par une extension préalable de l'équation de Clapeyron, au cas où les déformations sont à la fois élastiques et calorifiques. Ainsi complétée, la méthode de Castigliano forme un ensemble homogène, fondé exclusivement sur le théorème des forces vives; mais cet ensemble est, dans l'exposé, beaucoup plus long et délicat que la démonstration de l'équation générale, et il ne renferme rien qui permette d'établir le théorème de Betti qui est une très belle propriété de la matière élastique.

On sait que, dans l'étude de certains systèmes hyperstatiques, on peut, par un choix approprié des inconnues, obtenir un système d'équations *étagées*, dont la résolution est beaucoup plus rapide que celle du système d'équations complètes qu'on obtient en prenant comme inconnues les forces de liaisons surabondantes (ainsi, dans le calcul des poutres continues, il convient d'adopter comme inconnues, non pas les réactions des appuis, mais les moments de flexion sur appuis). On a reproché aux méthodes modernes de ne pas laisser la latitude de faire ce choix. Cette objection n'est pas fondée en ce qui concerne la méthode découlant immédiatement de l'équation générale de M. de Fontviolant : cette méthode laisse absolument arbitraire le choix des inconnues. Quant à la méthode de Castigliano, l'application brutale du théorème du travail minimum conduit bien, en effet, à des équations complètes, où les inconnues sont les forces de liaisons surabondantes, mais moyennant certaines précautions, on pourra se rendre maître du choix des inconnues.

Comme je le faisais remarquer au début, lorsqu'on doit étudier des corps de faible longueur, les méthodes ci-dessus ne s'appliquent plus. M. de Fontviolant a bien pensé à transformer son équation générale, comme le théorème de Castigliano, pour l'appliquer à la théorie mathématique de l'élasticité. Les formes, auxquelles on parvient, restent actuellement sans utilité pour la solution générale, parce que la théorie mathématique de l'élasticité n'a pas encore permis de former une expression simple du potentiel intérieur d'un corps déformé en fonction des forces produisant la déformation. La loi linéaire de répartition des tensions qui sert de base à la résistance des matériaux, donne le moyen de le faire pour les pièces longues avec une approximation suffisante; pour les pièces courtes la relation dépend des formes du corps et il paraît jusqu'à présent impossible pour l'exprimer d'échapper à une excessive complication.

MESNAGER.

(1) *Thèse de doctorat présentée à la Faculté des Sciences de Nancy*, 1914.
(2) *Les méthodes modernes de la Résistance des matériaux*, 1918, 1920.

La chimie et la guerre; science et avenir, par M. Ch. MOUREU, membre de l'Académie des Sciences et de l'Académie de Médecine, professeur au Collège de France. Un vol. in-8 (20 × 13 cm) de 384 p. Paris, Masson et Cie, 1920 (10 f.).

Sous un titre, qui rappelle le rôle joué pendant la guerre par la chimie, M. Ch. Moureu, membre de l'Institut, nous présente un remarquable plaidoyer en faveur des études scientifiques et spécialement des études chimiques, en faveur également de la place que la science doit conserver dans les préoccupations du pays.

La France et ses alliés ont gagné la guerre! La magnifique armée dont nos généraux disposaient, la science venant au secours de l'Industrie brusquement mobilisée, notre trésor et notre crédit financiers, le dévouement du Service de Santé, l'abnégation patriotique de nos populations envahies et la résistance de celles que l'invasion n'avait pas atteint, ont sauvé la France de l'asservissement auquel l'Allemagne avait la certitude de pouvoir nous condamner. Le recul des années permettra à ceux qui écriront l'Histoire d'attribuer à chacun la part qui lui revient dans le mérite d'avoir gagné la guerre; mais ce que l'Histoire enregistrera, c'est que sans la chimie et sans les chimistes, la guerre n'aurait pu être gagnée.

Il serait injuste de dire que la chimie et ses applications n'étaient jamais entrées dans les préoccupations de ceux qui avaient la direction de la Défense nationale. Mais il leur semblait que cette science pouvait être cloîtrée dans les laboratoires officiels du Service des poudres et de l'artillerie, et qu'il ne serait jamais utile, dans la guerre courte que l'on prévoyait, de faire appel aux chimistes de nos Facultés et de nos usines. Devant la carence de nos munitions, épuisées par la bataille de la Marne, puis, en face de nouveaux facteurs de défense ou d'attaque que les conceptions de la guerre moderne provoquaient chaque jour, il a fallu faire la levée en masse de tout un monde de travailleurs, inventeurs ou praticiens, réaliser, en quelques semaines un ensemble de créations et d'organisations imprévues; contrôle des aciers, des laitons, des obus, des douilles, surveillance de la trempe, production intensive de l'acide sulfurique, de l'oleum, de l'ammoniaque et de l'acide nitrique, du coton-poudre, de la poudre B, du phénol synthétique, de l'acide picrique, du trinitrotoluène, du chlore liquide, du perchlorate, du brome, des dérivés chlorés et bromés, des produits asphyxiants, vésicants, lacrymogènes, etc., au fur et à mesure que les Allemands déversaient sur nos troupes de nouveaux explosifs, de nouveaux gaz de combat; création et expérimentation de masques, de liquides neutralisants pour la protection collective, d'appareils avertisseurs, de lance-flammes, de produits fumigènes, etc., de produits assurant l'imperméabilisation et l'ignifugation des bâches, des toiles, le camouflage des voitures, des canons, des arbres, des prairies, etc. Tout cela donne l'idée d'un effort surhumain succédant à une pitoyable apathie et assuré par des chimistes de haute valeur parmi lesquels nous citerons seulement ceux qui, au moment de la guerre, jouissaient de la plus grande notoriété : Haller, président de la Commission des Poudres, Moureu, Desgrez, Gabriel Bertrand, Lebeau, Kling, Grignard, Urbain, Simon, Bougault, Tiffeneau, Valeur, Bougault, Rigaut, Lepape, Bongrand, etc.

Si la chimie française a contribué à gagner la guerre, la chimie allemande a été bien près de la lui faire perdre. Elle a prévu, bien avant nous, le rôle que la science chimique devait remplir au cours d'une guerre de cette importance. L'Allemagne fabriquait alors assez de poudres et d'explosifs pour pouvoir subvenir à nos

propres besoins et paralyser ainsi, en cas de guerre, notre fabrication nationale. Elle savait comment elle produirait son acide nitrique si le Chili cessait de lui fournir son nitrate, et dès le blocus, le procédé Haber et le procédé Oswald ont été réalisés. Sans doute la bataille de la Marne avait appauvri les réserves allemandes comme les nôtres, mais son industrie était toute prête à renouveler son approvisionnement; les gaz de combat étaient étudiés et prêts à être préparés par tonnes. Leurs chimistes n'étaient pas parmi les combattants, ni parmi les infirmiers ou les garde-voies! Ce sont eux aussi qui, avec une persévérance et une ingéniosité remarquable, souvent couronnées d'un succès relatif, ont cherché à parer aux déficits causés par le blocus; production d'alcool de bois, de glycérine, de matières azotées par la levure, de matières grasses, succédanés d'huiles, d'œufs, de tissus de coton, de cuir au moyen de papier, de tannin, études du caoutchouc synthétique, etc. L'Allemagne a donc préparé la guerre chimique et elle était en droit de croire à sa supériorité; elle s'est défendue chimiquement avec une énergie qui pouvait lui faire espérer qu'elle tiendrait jusqu'à la victoire.

En présence de cette lutte de laboratoire, engagée sur le terrain chimique, n'avons-nous pas le droit de demander que cette supériorité soit, par tous les moyens possibles, maintenue à la France qui a su l'acquérir, et ne devons-nous pas soutenir l'œuvre de M. Moureu, qui est une œuvre de propagande scientifique. L'auteur en effet, étudiant la façon dont on apprend la chimie dans l'enseignement secondaire et dans l'enseignement supérieur de nos Facultés et de nos grandes écoles, montre que l'on ne développe pas assez tôt chez nos jeunes gens le goût de la chimie, ni les procédés pour les attirer vers les études chimiques; il montre que les moyens matériels manquent à ceux qui veulent poursuivre la recherche scientifique; leur désintéressement n'a de limites que devant les nécessités de l'existence; mais encore faut-il y pourvoir.

On méconnaîtrait cependant le savant auteur de ce livre, si l'on pensait que, maître en chimie, il n'a exclusivement aperçu le renouveau souhaité, que dans l'évolution des études chimiques. Pour lui, la chimie est la plus étendue des sciences, puisqu'elle éclaire, dirige toutes les industries et bien des actes de notre vie; mais seule, sans le secours des autres sciences, elle serait trop souvent paralysée. Aussi M. Ch. Moureu termine-t-il par un appel fervent et convaincu en faveur de la recherche scientifique et de l'Union internationale des chercheurs. Ses vues s'élargissent quand il montre les forces morales et les forces économiques dont la France dispose, l'attrait intellectuel, artistique et moral de la science, quand il montre que la France, surtout en matière scientifique, a trop souvent semé sans avoir assez le souci de récolter, qu'elle doit intéresser toute la nation à la science, parce que « la Science est Puissance. »

J'ai lu, dans un article de M. Alfred Capus que la France ne fut sauvée que par un recours à la race; nous constatons, en lisant *La Chimie et la guerre* que la race à laquelle nos grands devanciers, Lavoisier, Gay-Lussac, Berthollet, Chevreul, Dumas, Wurtz, Pasteur, Berthelot, Curie et tant d'autres, ont donné une marque indélébile, possède, parmi ses caractères les plus incontestés l'esprit scientifique, l'intuition des grandes découvertes et l'énergie au travail.

L. LINDET.

Cours de métallurgie professé à l'École spéciale des Travaux publics, du Bâtiment et de l'Industrie, par M. le Général GAGES. 2e éd. 5 vol. in-8 (25×17 cm). Livre I : *La fonte*, de 334 p., avec 115 fig.; Livre II : *Élaboration des fers et des aciers*, de 351 p., avec 122 fig.; Livre III : *Travail des fers et des aciers*, de 431 p., avec 389 fig.; Livre IV : *Essais mécaniques des fontes, des aciers et des fers*, de 320 p., avec 157 fig.; Livre V : *Métallurgie des alliages métalliques et des métaux autres que le fer*, de 432 p., avec 113 fig. Paris, Librairie de l'enseignement technique, 3 *bis*, rue Thénard, 1921.

Le cours de métallurgie que vient de publier le général Gages est l'œuvre d'un spécialiste particulièrement autorisé de cette branche de l'enseignement technique. L'auteur, en effet, a enseigné la métallurgie à l'École d'Application de l'Artillerie à Fontainebleau, alors qu'il était jeune capitaine, et plus tard, comme chef d'escadron, au Cours technique supérieur de l'Artillerie, qu'il a dirigé pendant plusieurs années; dans l'intervalle de ces périodes de professorat, il a servi à diverses reprises dans l'Inspection des Fabrications de l'Artillerie, ce qui le conduisait à parcourir les usines les plus diverses, et dans les établissements techniques, où il devait lui-même diriger d'une façon effective des fabrications; pendant toute la durée de la guerre, il a assumé la direction de la Fonderie de Bourges, à la tête de laquelle il est resté, même après sa promotion au grade de général, en raison du développement énorme qu'avait pris cet établissement militaire.

Rendu à la vie civile, le général Gages a de nouveau consacré son activité et son expérience à l'enseignement de la métallurgie, et c'est le cours qu'il professe à l'École spéciale des Travaux publics qui forme l'important ouvrage que nous signalons aujourd'hui, et qui en est déjà à sa deuxième édition. Ce traité comprend cinq volumes, abondamment fournis en figures spécialement dessinées et qui facilitent au plus haut point la compréhension des descriptions d'appareils. Le premier volume est relatif à *la fonte*, le deuxième à *l'élaboration des fers et aciers*, le troisième au *travail des fers et des aciers*, le quatrième aux *essais mécaniques des fontes, des aciers et des fers*; le cinquième, enfin, expose la *métallurgie des alliages métalliques et des métaux autres que le fer*. Nous n'entreprendrons pas d'analyser ici ce travail considérable qui n'a pas d'équivalent dans la littérature technique française; nous signalerons seulement qu'en dehors des données recueillies directement par lui au cours de sa longue fréquentation des établissements métallurgiques, le général Gages a analysé les mémoires les plus récents dont il donne de nombreux extraits. Si l'on ajoute que le général Gages avait déjà abordé les mêmes questions dans diverses publications parmi lesquelles on peut citer notamment : un *Traité de Métallurgie du fer*, en deux volumes, édité par Fritsch en 1898, et six volumes de l'*Encyclopédie scientifique des Aide-mémoire* Léauté, on comprendra facilement l'intérêt qu'il a pu donner à l'ouvrage que nous signalons aujourd'hui.

G. CHARPY.

La technique moderne de l'industrie des goudrons de houille, par M. C. BERTHELOT, Ingénieur conseil. In-4 (27×22) de 104 p., avec 58 fig. Paris, Éditions de la *Revue de Métallurgie*, 5, cité Pigalle, 1920.

L'auteur a condensé et rassemblé dans un volume de 104 pages comprenant 58 figures, les résultats épars sur la technique moderne intéressant les goudrons de

houille. Il a soin de signaler les procédés que la pratique indique comme les plus rémunérateurs et les recherches de laboratoire susceptibles d'applications industrielles, donnant ainsi une orientation précieuse au chimiste et à l'industriel.

Le plan de l'ouvrage de M. Berthelot est bien conçu. Après un coup d'œil sur le marché mondial des goudrons et des principaux sous-produits, l'auteur traite dans les deux premiers chapitres les généralités sur l'origine et la nature des goudrons. C'est ainsi qu'il décrit (chap. I et III) les divers modes de récupération, de condensation des goudrons; leur procédé de purification et de séparation; la préparation et la composition des huiles de brai, l'influence de l'origine sur la composition des goudrons, etc.

Dans les six chapitres suivants (de IV à IX), après une étude sommaire des sous-produits, l'auteur s'occupe du traitement des goudrons de houille et s'étend largement sur les appareils et les meilleurs dispositifs utilisés. Il discute les diverses méthodes de séparation des fractionnements appliqués à la distillation discontinue.

Il est ainsi conduit dans les chapitres suivants (X, XI, XII) à parler du traitement des huiles brutes. Il y donne d'utiles indications sur l'emploi et le rendement des essoreuses et des filtres-presses qui démontrent de la part de l'auteur une parfaite connaissance de la conduite de ces appareils.

Il examine les différents procédés de distillation continue des goudrons et la transformation du goudron en brai. Le principe du procédé est d'abord sommairement exposé, puis, toujours soucieux de l'application pratique, l'auteur donne son opinion sur les appareils, et le coût de l'installation.

Le chapitre XIII est entièrement consacré aux applications du goudron et de ses dérivés. Nous y voyons décrit le chauffage aux huiles lourdes, les fours Stein, Grebel, les moteurs à huile ou à naphtaline et encore le procédé de fabrication d'une matière plastique pour le goudronnage des routes.

Enfin dans les chapitres XIV, XV, XVI, XVII, nous trouvons décrits la préparation et les tours de mains de fabrication de l'acide crésylique, de la naphtaline, de l'anthracène, des huiles solubles et antiseptiques (genre crésyl-Jeyes), des huiles pour les routes, etc.

Le dernier chapitre (XVIII) renferme des conseils pratiques pouvant servir à un avant-projet de distillerie de goudron : consommation de vapeur, d'eau, personnel, bâtiments, mesures de sécurité.

M. Berthelot termine son ouvrage par des considérations d'un grand intérêt. Il fait prévoir en effet de nombreux progrès à réaliser dans l'industrie des goudrons, aussi bien dans le domaine de la distillation que dans celui de la cristallisation des hydrocarbures solides. Il regrette que les nouvelles cokeries ne comportent pas, comme corollaire naturel, une usine à goudron et fait ressortir les désavantages de cette situation : « Quand une distillerie, dit-il, n'est pas adjointe à une usine de benzol, celle-ci est borgne ou boiteuse ».

Nous croyons avoir donné dans cette courte analyse un aperçu suffisant de la *Technique moderne de l'industrie des goudrons de houille* pour montrer tout l'intérêt que l'on peut recueillir de sa lecture. Elle est facilitée par la clarté du style et le soin qu'a pris l'auteur de bien diviser un sujet qui, sans cette précaution, aurait pu paraître indigeste et touffu au lecteur lequel actuellement plus que jamais, demande à être renseigné avec le minimum de temps possible. Ce n'est pas

l'ouvrage théorique encombré de formules mais bien un traité précis, quoique très succinct, mis à la portée de tous les spécialistes ou érudits s'intéressant au développement de notre industrie nationale, au moment où il nous apparaît comme une impérieuse nécessité de tirer le maximum de profit de tous les composés qui dérivent du goudron de houille.

A. TRILLAT.

Traité de microbiologie agricole, par M. EDMOND KAYSER, Ingénieur-agronome, docteur ès sciences, Maître de conférences de Microbiologie à l'Institut national agronomique.

Deux volumes de l'*Encyclopédie agricole Wery*. I. *Microbiologie appliquée à la fertilisation du sol*, de 325 p., avec 49 fig.; II. *Microbiologie appliquée à la transformation des produits agricoles*, de 390 p., avec 53 fig. Paris, J.-B. Baillière et fils, 1921 (chaque vol. 10 f.).

I. — *Microbiologie appliquée à la fertilisation du sol.* — La chimie, sur laquelle on avait fondé de grands espoirs pour nous renseigner sur la valeur agricole des terres, et sur les mesures à prendre en vue d'en assurer l'amélioration, n'a pas rendu tous les services qu'on en attendait. Plus on étudie les terres arables, et, mieux on se rend compte, en effet, du rôle prépondérant que jouent les propriétés physiques et les propriétés physiologiques. Le jour où Schlœsing et Muntz ont démontré que la terre végétale est un milieu vivant, cette découverte a jeté une lumière éclatante, et bien inattendue, sur la plupart des procédés agricoles : préparation mécanique des terres, fumures, irrigation, etc. Dans les trente dernières années, M. Kayser, maître de conférences de Microbiologie, et directeur, après son maître Duclaux, du Laboratoire des Fermentations de l'Institut agronomique, a été l'un des meilleurs ouvriers de la nouvelle science, envisagée dans ses rapports avec l'agriculture. L'ouvrage qu'il vient de publier, comprend deux parties. En voici les principales divisions :

a) Considérations générales : Influence des agents physiques et des agents chimiques sur les microbes; culture à l'état de pureté; coloration des microbes.

b) Procédés de fertilisation du sol par voie microbienne : répartition des microorganismes à la surface terrestre; formation de l'humus; fumier de ferme; nitrification; engrais verts et engrais animaux; dénitrification; épuration des eaux d'égout et des eaux résiduaires des industries agricoles; fixation de l'azote atmosphérique; cycles du soufre et du fer.

Dans un appendice, l'auteur étudie en détail les méthodes destinées à se rendre compte de l'acidité du milieu de culture, méthodes préconisées par Sörensen, basées sur la concentration des ions H.

II. — *Microbiologie appliquée à la transformation des produits agricoles.* — La microbiologie a renouvelé les industries agricoles. M. Kayser, qui a participé très activement aux progrès qu'elles ont réalisés, dans les trente dernières années, était mieux qualifié que personne pour en donner une vue d'ensemble.

Voici les titres des 4 chapitres de l'ouvrage, avec quelques indications sommaires sur les matières traitées dans chacun d'eux :

1. Description des principaux groupes de microbes des industries agricoles :

moisissures, ferments alcooliques, lactiques, butyriques; ferments des matières albuminoïdes.

2. Diastases.

3. Transformation des produits végétaux; industries de fermentation; vinaigrerie, sucrerie, amidonnerie et féculerie; boulangerie; fabrication des conserves végétales; ensilage, rouissage, fermentation du tabac.

4. Transformation des produits animaux : laiterie, tannerie, moyens de conservation de différents produits agricoles.

A la fin de chaque chapitre, le lecteur trouvera une bibliographie très riche, établie avec un soin et une conscience dont on ne saurait trop féliciter l'auteur.

E. SCHRIBAUX.

OUVRAGES REÇUS A LA BIBLIOTHÈQUE
EN MARS 1921.

LÉVY (RAPHAËL-GEORGES). — **Initiation financière** (*Collection des initiations*). In-12 (19 × 12) de 238 p. Paris, Librairie Hachette, 1921. **16194**

MAUGEIS DE BOURGUESDON. — **Les sténographes polyglottes.** Étude des langues vivantes. Voyage, séjour et placement à l'étranger. Sténographie de l'anglais, de l'espagnol, de l'allemand, etc. (Exemples d'adaptations). La profession de sténographe polyglotte. In-8 (22 × 14) de 191 p. Paris, chez l'auteur, 30, rue de Bourgogne (7e), 1920. **16195**

BOULLANGER (EUGÈNE). — **Malterie. Brasserie** (*Encyclopédie agricole*). 2e éd. Tome I, de VIII + 356 p., 59 fig. Paris, J.-B. Baillière et fils, 1921. **16196**

RAZOUS (PAUL). — **Les déchets et sous-produits industriels.** Récupération. Utilisation. 2e éd. In-8 (25 × 16) de VIII + 526 p., 94 fig. Paris, Dunod, 1921. **16197**

FAURÉ-FREMIET (E.). — **Le mouvement actuel pour la réorganisation des recherches scientifiques en France.** Buts poursuivis. Moyens d'action. Résultats obtenus. In-8 (25 × 16) de 79 p. Angers, Imp. F. Gaultier et A. Thébert, 1921. **16198**

GABEAUD. — **Introduction mathématique aux sciences techniques de l'ingénieur** (*Encyclopédie industrielle et commerciale*). 3e éd. In-8 (25 × 16) de VI + 438 p., 191 fig. Paris, Librairie de l'enseignement technique, 3 *bis*, rue Thénard, 1920. **16199**

JOUBIN (L.). — **Le fond de la mer** (*Bibliothèque des merveilles*). In-12 (19 × 12) de 192 p., 48 fig., XXXI pl. Paris, Librairie Hachette. **16200**

*
* *

VASSIVIÈRE (JOSEPH). — **La journée anglaise et ses bienfaits.** Étude suivie d'une lettre de M. Honnorat, le *Député de l'heure*, Ministre de l'Instruction publique. In-8 (21 × 13) de 55 p. Paris, Félix Alcan, 1921. **Pièce 12601**

BARGERON (L.). — **La protection des métaux contre la rouille. Les peintures sur fer. Possibilité de remplacer le minium de plomb** (*Rapport présenté au nom de la Section*

du Nord de l'Association française pour la protection légale des travailleurs). In-8 (21 × 14) de 63 p. Paris, *Le Moniteur de la peinture*, 86, rue de Flandre. **Pièce 12602**

Union internationale de la chimie pure et appliquée. — **Comptes rendus de la première conférence internationale de la chimie, Rome, 22-24 juin 1920.** In-4 (27 × 21) de 90 p. Paris, Secrétariat général, 46, rue des Mathurins. **Pièce 12603**

La semaine de motoculture d'automne 1920. Chartres (Eure-et-Loir), **1er au 6 octobre.** (*Bulletin de la Chambre syndicale de la motoculture de France*, septembre-décembre 1920, 40 p., 23 fig., I pl.) **Pièce 12604**

Bourdin (André). — **Étude-enquête sur la cheimatobie. Ses mœurs et sa destruction.** In-8 (21 × 13) de 32 p. Paris, Librairie agricole de la Maison rustique, 1920. **Pièce 12605**

Laporte. — **Le problème de la réunion des ressources du Service de l'intendance pendant la guerre 1914-1918** (*École supérieure de guerre. Cours de tactique générale et d'état-major*). In-4 (27 × 21) de 71 p., VI pl. Paris, Imprimerie nationale, 1920. **Pièce 12606**

*
* *

Smithsonian Miscellaneous Collection. — Vol. LXXI, n° 1 (publication 2539) : *Smithsonian Physical Tables*. 7th ed., de XLVI + 450 p. Washington, 1920. **Pér. 27**

Syndicat général des fondeurs en fer de France. — **Annuaire 1921.** Paris, 10, rue de Lancry. **Annuaire**

U. S. Bureau of Labor Statistics. — **Bulletins nos 265, 268.** Washington, 1920. **Pér. 35**

Nouvelles archives des Missions scientifiques et littéraires. Choix de rapports et instructions publiés sous les auspices du Ministère de l'Instruction publique et des Beaux-Arts. — Tome XXII, fasc. 2. Paris, Imprimerie nationale, 1919. **Pér. 38**

Institution of Civil Engineers. — **Minutes of Proceedings.** Vol. CCVII, 1918-19 (part I). London, 1920. **Pér. 189**

Institution of Engineers and Shipbuilders in Scotland. — **Transactions.** Vol. LXII, 1918-1919; Vol. LXIII, 1919-1920. Glasgow, 1919, 1920. **Pér. 5**

Bureau of Standards. — **Technologic Papers, n° 123** : *Physical and chemical tests on the commercial marbles of the United States*, by D. W. Kessler, 54 p., 8 fig. Washington, 1919. — **Scientific Papers, n° 394** : *Air forces on circular cylinders, axes normal to the wind, with special reference to dynamical similarity*, by H. L. Dryden. Washington, 1920. **Pér. 61**

Secretaria de Industria, Comercio y Trabajo (Mexico). — **Boletin de Industria, Comercio y Trabajo.** Tomo IV, ns 1, 2 y 3 (enero a marzo de 1920). Mexico, 1920. **Pér. 454**

L'agent général, gérant,
E. Lemaire.

Coulommiers. — Imp. Paul BRODARD.

BULLETIN

DE

LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT

POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

COMITÉ DES CONSTRUCTIONS ET BEAUX-ARTS

Rapport présenté par M. Marcel Magne, au nom du Comité des Constructions et Beaux-Arts, sur un *procédé destiné à rendre l'aquarelle inaltérable, imaginé par M. Juan E. Hernandez Giro.*

M. Juan E. Hernandez Giro, artiste-peintre, 32, rue La-Fontaine, Paris (16e), tient à bon droit l'aquarelle pour un procédé de peinture présentant la technique la plus saine et les effets les plus brillants, en même temps qu'une fixité que n'offre, pour des raisons diverses, ni la peinture à l'huile ni le pastel.

Il la compare, à cet égard, à l'encaustique, à la détrempe et à la gouache; il serait tout à fait juste de l'assimiler à la fresque qui est faite également dans l'eau, ne comporte pas non plus de retouche et tire semblablement son effet du blanc éclatant du fond, ici constitué par la chaux grasse et transparaissant sous la couleur.

Aussi est-il naturel que M. Giro se soit préoccupé de combattre le seul risque de détérioration que présente l'aquarelle, à savoir les effets pernicieux que peut avoir l'humidité sur son support, sur le papier.

Remarquant que le principe hydrofuge de la technique ancienne de l'encaustique lui a procuré l'inaltérabilité, il a eu l'idée de traiter à la cire vierge le papier de l'aquarelle pour l'isoler de l'air et de l'humidité.

Les détails de son procédé, très simple, sont décrits dans le brevet annexé à la communication qu'il a faite à la Société d'Encouragement.

Les expériences auxquelles il s'est livré en ma présence sont concluantes : non seulement une aquarelle protégée par la cire peut impunément être immergée, mais elle peut être frottée, salie, maculée même avec de l'encre; il suffit d'un savonnage pour lui rendre son éclat primitif.

La cire ne dénature ni la valeur ni la couleur des tons; elle leur donne seulement un léger brillant qui n'est pas désagréable et est d'ailleurs invisible lorsque l'aquarelle est placée sous verre.

Les résultats sont intéressants. S'il ne paraît pas utile de protéger les aquarelles par ce procédé dans des conditions normales d'exposition dans un musée ou un appartement chauffé, il n'est pas douteux que les aquarelles placées dans des locaux non chauffés où il se produit, l'hiver, des condensations, seraient immunisées par ce procédé; il n'est pas douteux non plus que si on l'avait appliqué aux œuvres qui furent abritées dans des caves en 1918, on aurait évité bien des déboires.

D'ailleurs, il est aisé d'enlever, par la suite, la couche de cire en appliquant un fer chaud sur un papier buvard superposé à l'aquarelle.

Enfin, il semble que le procédé puisse rendre de réels services dans la décoration intérieure.

Il est difficile actuellement d'utiliser la fresque lorsqu'on fait, après coup, une décoration dans un monument public en service. L'emploi de la peinture à l'huile sur toile marouflée est loin d'être un procédé parfait, tant au point de vue de l'effet que de la conservation. Le collage de papier préalablement enduit de cire à l'envers et protégé de même à l'endroit après achèvement, permettrait vraisemblablement d'employer le procédé de l'aquarelle pour la décoration monumentale, ce qui présenterait un réel intérêt artistique.

Votre Comité des Constructions et Beaux-Arts est d'avis qu'il y a lieu de remercier M. Juan E. Hernandez Giro de l'esprit dans lequel il s'efforce de faire connaître ses expériences pour rendre service aux artistes et aux collectionneurs. Ce Comité vous propose aussi de l'y aider en publiant son procédé dans notre *Bulletin* (1) ainsi que le présent rapport.

Le Rapporteur,
MARCEL MAGNE.

Lu et approuvé en séance publique, le 28 mai 1921.

(1) Voir ci-après, p. 419, le texte du brevet relatif à ce procédé.

Procédé pratique pour rendre l'aquarelle inaltérable.

Étendre sur une surface dure et polie (marbre par exemple) l'aquarelle parfaitement sèche.

La frotter avec de la cire blanche vierge de façon à l'en recouvrir le plus possible; remplir les creux en passant un brunissoir légèrement chauffé.

Régulariser et amincir la couche de cire par friction avec un tampon d'étoffe souple ou de peau de daim.

Pour remplir complètement les petits creux restés nus, et obtenir en même temps le mat, appliquer avec le doigt, légèrement, par-dessus le tout et à froid, la préparation suivante :

Cire blanche vierge.	12 g.
Essence de térébenthine distillée	20 g.

L'essence s'évapore à l'air libre en cinq ou six jours et l'aquarelle peut alors être tendue humectée à l'envers, et collée par ses bords sur un carton fort; laisser sécher parfaitement.

Recouvrir le dos et les bords du carton avec de la cire, et l'isolement devient complet : il n'y a plus contact direct entre l'aquarelle et les agents atmosphériques.

En collant avec des bandelettes de papier les bords du carton au cadre, il ne reste rien à craindre de la poussière.

Avec ces précautions complémentaires et en laissant la surface peinte séparée du verre, comme cela se fait pour le pastel, l'aquarelle devient la plus résistance des peintures directes.

Résumé.

Protection efficace contre tous risques de détérioration (le feu excepté) de l'aquarelle, sous une couche de cire, sans rien changer à son coloris et à son aspect premier, la mettant ainsi en mesure de briller au premier rang de la peinture, depuis la miniature jusqu'à la grande peinture murale.

Juan E. Hernandez Giro.

Paris, le 10 février 1921.

COMITÉ DES ARTS ÉCONOMIQUES

Rapport présenté, par M. MARRE, au nom du Comité des Arts économiques, sur un *nouveau type de fraises pour le travail des métaux*, présentées par M. Louis BOZONNET, et construites par MM. Bonnaffous, Bozonnet et Cie.

MM. Bonnaffous, Bozonnet et Cie, constructeurs-mécaniciens, 38, rue Blanqui, à Saint-Ouen (Seine), ont construit un nouveau type de fraises qui ont été présentées en séance publique du Conseil de notre Société, le 13 novembre 1920, par M. Louis Bozonnet, frère d'un des associés des ateliers Bonnaffous, Bozonnet et Cie, qui y remplit les fonctions de directeur technique.

Le *Bulletin de la Société d'Encouragement* de novembre-décembre 1920, page 977, renferme un excellent résumé de la conférence de M. Louis Bozonnet, qui fait ressortir l'intérêt que présentent ses études sur la meilleure forme à donner aux dentures des fraises en général, et en particulier aux fraises à tailler les dents des roues d'engrenages.

Cependant, les considérations qui ont conduit M. Louis Bozonnet au type de fraise qu'il a réalisé, et qu'il expose dans son mémoire sur la question, méritent d'être imprimées car elles relatent, sur ce sujet, les études et les observations d'un praticien habile autant que réfléchi.

Il a construit, dans ses ateliers, tout le matériel, les machines et l'outillage nécessaires à l'exécution de ses fraises. Il y emploie des dispositifs connus, qu'il a complétés par d'ingénieuses additions et des réglages de grande précision, qui lui permettent d'obtenir assez aisément ces fraises d'exécution délicate.

Ces fraises sont des outils coûteux, mais elles fournissent une telle production que leur emploi est économique.

Voici le résumé de deux essais typiques :

1° Taille d'une roue d'engrenage, en fonte douce ordinaire, diamètre 528 mm, 64 dents de module 8, largeur du limbe 80 mm.

Fraise employée, sans lubrifiant : diamètre 110 mm, nombre de dents 14, nombre de tours à la minute 50, vitesse tangentielle à la minute 17,28 m.

Le serrage pratique, pour l'avance de la fraise dans la fonte, obtenu et recommandé par M. Louis Bozonnet, est de 125 mm à la minute, serrage déjà trois fois supérieur à celui des fraises couramment en usage.

Mais les qualités de coupe et de résistance des fraises Bozonnet sont telles que le serrage a pu être poussé progressivement à 165 mm, 222 mm, 292 mm et même 381 mm, démontrant ainsi la supériorité de leur conception.

2° Taille d'une roue d'engrenage en acier coulé, diamètre 570 mm; nombre de dents 55 de module 9, largeur du limbe 100 mm.

Fraise employée, avec lubrification à l'huile de colza : diamètre 115 mm, nombre de dents 14, nombre de tours à la minute 60, vitesse tangentielle à la minute 21,67 m.

Le serrage pratique recommandé par M. Louis Bozonnet pour ce travail est de 40 mm à la minute. Cependant, pour démontrer l'excellence de ses fraises, M. Bozonnet a fait augmenter progressivement, sous nos yeux, l'avance de la machine aux serrages 85 mm et 108 mm à la minute.

Il est à remarquer que le dispositif des dents à profil encoché fait qu'il faut le travail de deux dents de la fraise pour obtenir un profil complet, de sorte qu'en fait il n'y a que 7 parties de dents qui coupent par tour sur les 14 dents de la fraise.

L'épaisseur des copeaux qui en résultent varie ainsi de 0,36 mm à 1,08 mm dans la fonte, et de 0,1 à 0,26 mm dans l'acier coulé, ce qui est un résultat remarquable vu la qualité de travail obtenu, même avec des passes de fraisage aussi poussées.

En conséquence, votre Comité des Arts Économiques demande de vouloir bien publier dans notre *Bulletin* le présent rapport et le mémoire[1] de M. Louis Bozonnet et aussi de vouloir bien retenir M. Louis Bozonnet parmi les personnes à qui notre Société est disposée, en principe, à accorder une récompense, récompense que sollicitent pour lui MM. Bonnaffous, Bozonnet et Cie, dont il est le collaborateur.

Le Rapporteur,
M. Marre.

Lu et approuvé en séance publique le 28 mai 1921.

(1) Le texte *in extenso* de ce mémoire est donné à la page 422 du présent numéro.

NOUVEAU TYPE DE FRAISES POUR LE TRAVAIL DES MÉTAUX[1].

Pour comprendre les avantages de la fraise que nous présentons, et expliquer son rendement élevé que l'expérience a démontré, il est nécessaire d'examiner sommairement les deux types de fraises de forme employées jusqu'à ce jour dans les ateliers pour les travaux de fraisage.

D'une part, la fraise à denture dégagée, dite à denture fraisée.

D'autre part la fraise à profil constant dite à denture détalonnée.

La fraise à denture fraisée (fig. 1) dont la denture à profil franchement dégagé, à arêtes vives, très tranchante, a l'avantage de travailler sous une vitesse de coupe rapide. Par la rapidité et la netteté de sa coupe, elle demande moins d'effort. Elle a, par contre, le grand désavantage de sa denture fragile qui ne permet pas les fortes avances. Sa capacité de production se trouve de ce fait fortement diminuée. D'autre part, pour les fraises de profil compliqué et précis, telles que fraises pour denture d'engrenages, il y a presque impossibilité d'affûtages corrects. En tous cas, ces affûtages, qui ne peuvent se faire que sur l'arête tranchante (fig. 3), en diminuant la hauteur de la dent, diminuent le creux, ou inter-dent, nécessaire au logement du copeau, pendant le travail, pour éviter le « bourrage ». De ce fait, la fraise est mise rapidement hors d'usage.

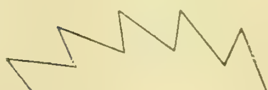


Fig. 1

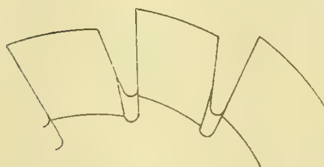


Fig. 2



Fig. 3

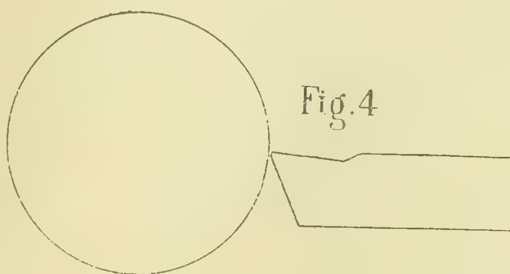
La fraise à profil constant, dite à denture détalonnée (fig. 2), obtenue par le moyen du tour à détalonner, par la forme robuste de sa denture, par le solide encastrement de cette denture dans le corps de la fraise, est d'une capacité de travail plus grande. Son affûtage facile sur les faces travaillantes,

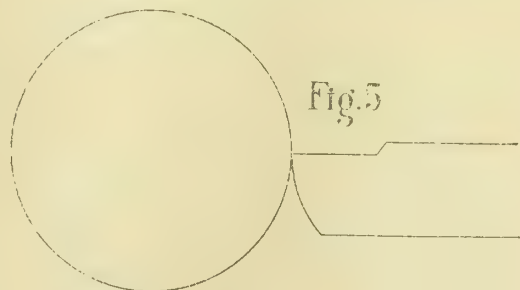
(1) Ce type de fraises a fait l'objet d'une communication de l'auteur en séance publique le 13 novembre 1920 (Voir le *Bulletin* de novembre-décembre 1920, p. 977).

et qui assure automatiquement la constance du profil, facilite, simplifie son emploi, et prolonge de beaucoup sa durée.

Mais, d'autre part, même sous une lubrification intense, il est impossible de donner à ce genre de fraise une grande vitesse de coupe, non plus que de lui donner une pénétration ou avance (ce que nous appellerons l'avance-tour) en rapport avec la solidité de sa denture. Ceci s'explique par son type particulier de détalonnage, détalonnage curviligne, ou en forme de molette.

Si l'on compare la dent de ce genre de fraise aux outils ordinaires servant au travail des métaux, à un outil de tour par exemple, on remarquera que cette dent n'est pas un outil proprement dit, tel que le représente la figure 4, outil à détalonnage rectiligne, à arête vive et nette, parfaitement tranchant et dégagé, mais n'est, en quelque sorte, qu'une molette de forme à taillant peu dégagé tel que le montre la figure 5.





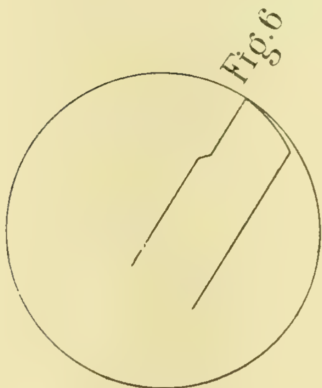
Il est constant que la coupe nette, tranchante, de l'outil proprement dit (fig. 4), permettra de prendre le maximum de matière à la plus grande vitesse, avec le minimum d'échauffement, et par suite avec le minimum d'effort.

L'outil molette (fig. 5), à taillant moins dégagé, à arête de coupe moins vive, aura une plus faible faculté de pénétration, un « tranchant » moins net. Cet outil, du fait même du dégagement curviligne de sa coupe, arrivera au talonnement plus rapidement que l'outil de la figure 4 et provoquera un échauffement nuisible, plus intense et plus rapide, et de l'outil et du métal à travailler; d'où, par suite, obligation de réduire la vitesse de coupe. Donc moins de pénétration et vitesse moindre. De ce qui précède, il résulte que l'outil à dégagement rectiligne, tel qû'en figure 4, produira le maximum de travail, sous le moindre effort et que l'outil molette à dégagement curviligne, tel qu'en figure 5, produira moins de travail sous un effort plus grand.

Dans l'exemple ci-dessus, nous avons examiné l'outil molette (comparable exactement, quant à sa forme, à une dent de fraise détalonnée ordinaire)

dans le cas le plus favorable, outil de tour travaillant à l'extérieur d'une circonférence; le dégagement de la coupe de l'outil, du fait même de la position de l'outil, placé extérieurement à la pièce à travailler, étant facilité, en raison de ce que la circonférence de la pièce à usiner et la courbe de dégagement du taillant de l'outil s'éloignent l'une de l'autre comme deux arcs en conjonction extérieure.

Si nous reprenons cet exemple et que nous l'appliquions au cas similaire du travail de fraisage, outil de tour travaillant à l'intérieur d'un alésage (fig. 6), le défaut de dégagement du taillant est alors franchement accusé. Les deux arcs, arc du sillon creusé par l'outil dans la pièce à travailler, arc de la courbe de détalonnage de l'outil, au lieu de s'éloigner l'un de l'autre comme dans le cas du travail extérieur, rentrent alors l'un sur l'autre.



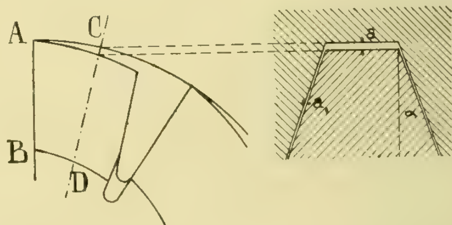


Fig. 7.

Dans ces conditions, on comprend que l'usure du taillant pendant le travail, c'est-à-dire l'usure normale de l'arête tranchante, se traduise rapidement par un talonnement franc et net de l'outil. Talonnement qui, en diminuant la faculté de coupe du taillant, réduira la facilité de pénétration de l'outil dans la pièce à travailler et provoquera une sorte de freinage, d'où résulte un échauffement anormal, d'où moins de travail, moins de vitesse, plus d'effort.

Ce que nous venons de dire se rapporte exactement au travail d'une fraise travaillant uniquement par sa circonférence extérieure (cas de la fraise dite une taille).

Examinons maintenant comment se présentent les choses dans le cas des fraises de forme, travaillant sur les faces ou côtés (cas des fraises à engrenages) et pour faciliter l'explication, ramenons le profil à une forme simple, fraise à profil trapézoïdal, tel qu'en figure 7.

Pour apprécier le rapport entre le détalonnage à la circonférence extérieure, et le détalonnage sur les flancs, d'une telle fraise, coupons le

système par un plan radial CD, en arrière de la face de travail AB de la dent. Si nous projetons sur un plan parallèle à CD la coupe du sillon creusé et la coupe de la dent, le détalonnage au sommet, c'est-à-dire à la circonférence extérieure, sera mesuré en ce point par la distance a et le détalonnage sur les flancs, mesuré au même point par la distance a^1 ; a^1 est plus petit que a; et cette différence sera d'autant plus grande, c'est-à-dire a^1 sera d'autant plus petit que la valeur de l'angle de déclivité des flancs, tel que α, sera plus petit. Il est à remarquer que si nous avions fait la coupe CD très proche en arrière AB, à quelques millimètres, la distance a^1 qui mesure le détalonnage des flancs en ce point, pour une fraise telle que celle qui est figurée, à angle de déclivité relativement important, serait devenu pratiquement inappréciable; ce qui revient à dire que, immédiatement en arrière de la face taillante de la fraise, il y a pratiquement talonnement positif, donc défaut de coupe absolu, *a fortiori*, pour une fraise à angle de déclivité des flancs très réduit (ce qui se produit couramment pour les fraises à engrenages, taillant de petits nombres de dents), ce talonnement parasite serait donc franchement nuisible.

Le détalonnage rectiligne, la valeur de ce détalonnage accrue jusqu'à la limite pratique, pourraient seules supprimer cet inconvénient.

En résumé, de ce qui précède il faut retenir que :

1° La fraise à denture fraisée, à denture franchement dégagée, a une coupe nette, vive, tranchante, mais que le peu de solidité de sa denture, fragile de par sa conformation même, ne permet pas de lui demander de grands efforts de travail. Elle est de capacité de production réduite. Elle est difficilement affûtable, et les affûtages ont l'inconvénient de réduire encore sa capacité de travail;

2° La fraise à profil constant ordinaire, dite à denture détalonnée, à denture solidement encastrée, robuste, peut fournir un travail quantitatif plus élevé, mais son défaut de coupe, son détalonnage insuffisant ne permettent pas de lui faire produire toute la quantité de travail que, plus coupante, mieux dégagée, elle pourrait donner.

D'autre part, on remarquera que les fraises de forme, dite fraises de finition, sont construites à développement de profil continu.

On a donc, pour le cas de la fraise à profil constant, un outil peu tranchant, à dégagement ou détalonnage défectueux, et généralement à grand développement de profil, c'est-à-dire à large surface de coupe. Or, la pratique démontre qu'une passe de travail, de bonne épaisseur, mais de surface réduite, demandera moins d'effort, s'exécutera plus facilement, qu'une passe à égale quantité de métal enlevé, mais de large surface et de peu d'épaisseur; et d'autre part, dans le même ordre d'idées, dans le cas d'une « forte

passe », c'est-à-dire pour une grande quantité de métal à enlever, un moindre effort sera demandé à la machine en sectionnant la « passe », c'est-à-dire en faisant exécuter le travail, non pas par un seul outil, mais par deux ou plusieurs outils se suivant en enlevant chacun une portion réduite du métal à enlever.

Ces considérations nous ont amené à étudier et à réaliser un outil de fraisage rationnel, une fraise comparable quant à la netteté de la coupe à la fraise dite à denture fraisée, possédant les avantages de robustesse, de constance des profils taillés, et d'affûtages pratiques sur le devant des coupes de la fraise à profil constant, et à développement de profil réduit et sectionné pour faciliter le travail et diminuer l'effort demandé.

C'est la fraise que nous présentons, dite *fraise à détalonnage rectiligne conoïdal, à denture encochée.*

Notre fraise est à détalonnage rectiligne, c'est-à-dire que chacun des éléments formant dent n'est plus en forme de détalonnage curviligne ou de molette, dont nous venons de voir les inconvénients, mais en forme d'outil rectiligne dont le détalonnage a été poussé à sa plus grande valeur pratique par la combinaison judicieuse, résultant d'essais attentifs et suivis de l'angle de coupe tel que β et de la direction des affûtages, pour chaque cas particulier.

Cette fraise ainsi construite, la propriété « tranchante » de chacune des dents, est comparable très exactement à celle d'un bon outil de tour correctement affûté sous l'angle de coupe convenable.

Toutes chances de talonnement sont, de ce fait, éliminées en ce sens que l'usure normale de la coupe, due au travail même, n'intéressera que l'arête tranchante elle-même, sans se traduire par un talonnement parasite des flancs, cause de freinage, d'échauffement et de mauvais fini du travail.

Une fraise ainsi conformée demandera moins d'effort parce que, coupant mieux, elle pourra travailler sous une vitesse plus grande, et aussi parce qu'elle ne talonne pas; et, si à ces avantages de coupe et de dégagement, on ajoute le grand avantage de la réduction de la surface positivement taillée, et le sectionnement de cette surface en parties séparées et distinctes, il est certain que, comparativement au travail de la fraise à détalonnage curviligne ordinaire, pour un même effort demandé à la machine, la quantité de travail produit sera beaucoup plus élevée.

Avant d'aller plus loin, pour illustrer d'un exemple typique ce que nous venons de dire quant à la réduction de l'effort demandé aux machines à tailler par l'emploi de notre fraise, nous citerons le résultat d'essais de puissance absorbée par ce type de fraise comparativement avec une fraise ordinaire à détalonnage curviligne, de mêmes caractéristiques.

Ils ont été faits avec des fraises au module de 9, taillant des roues en fonte mécanique ordinaire. La denture était taillée d'une seule passe.

La machine travaillant avec la fraise détalonnée curviligne ordinaire, sous vitesse de pénétration de 63 mm à la minute absorbait une puissance légèrement supérieure à 5 ch.

Travaillant avec une de nos fraises sous vitesse de pénétration de 176 mm à la minute, soit avec une pénétration 2,8 fois plus grande, la machine absorbait une puissance de 4,75 ch.

En tenant compte de la différence des efforts entre 5 ch et 4,75 ch, notre fraise, à égalité de puissance absorbée, produisait très sensiblement trois fois plus de travail.

Il convient de noter que la vitesse de pénétration de 176 mm, indiquée plus haut, n'est pas une vitesse d'essai, mais bien une vitesse pratique, ce que nous pourrions appeler la vitesse de moindre usure. A cette vitesse, sans affûtages, la même fraise taille couramment 12 roues, fonte mécanique ordinaire, de chacune 57 dents, largeur 80 mm, soit donc *684 dents*. Une fraise ordinaire, à détalonnage curviligne, de mêmes caractéristiques, aurait demandé pour le même travail de 6 à 8 affûtages.

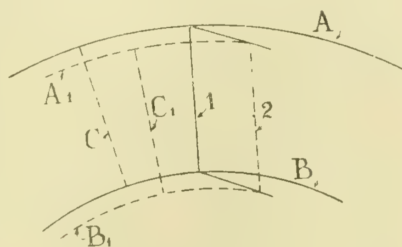


Fig. 8.

Nous ajouterons que la même machine établie pour tailler au maximum du module de 9, taille, avec notre type de fraise, des couronnes en acier forgé, de 55 à 60 kg de résistance au module de 15, angle de pression 20°, sous vitesse de pénétration 20 mm par minute. *La puissance absorbée n'est que de* 4,2 ch.

Ceci dit, nous continuons la description de la fraise.

La rectilignité du détalonnage, séduisante quant à ses avantages pratiques, était relativement facile à obtenir. La difficulté était de conserver aux profils taillés la constance nécessaire quelle que soit l'usure de la fraise, consécutive aux affûtages successifs, ces affûtages étant faits suivant des plans parallèles à la coupe d'établissement de la fraise ou coupe de premier affûtage, de manière à conserver à l'angle de coupe, tel que β, une valeur constante.

En effet si, partant de l'idée la plus simple, on avait voulu établir une fraise, telle qu'en figure 8, en faisant la dent de la fraise en forme de section de prisme cylindrique, à base déterminée par le profil voulu, que la dent ait été établie pour que la première coupe, ou coupe d'établissement 1, taille un certain profil mesuré en hauteur par la distance radiale C entre les deux arcs concentriques A et B, on conçoit de suite, comme le montre la figure, qu'une

coupe d'affûtage telle que 2, en arrière de la première coupe 1, quoique de profil rigoureusement semblable au profil de la coupe 1, taillerait cependant dans la pièce à usiner un profil dont la hauteur mesurée par la distance radiale C_1 entre les deux arcs concentriques A_1 et B_1 intéressant cette taille, serait plus petite que la hauteur C du profil taillé par la première coupe. Ainsi comprise, la dent de la fraise, quoique rigoureusement à profil constant, taillerait cependant des profils inégaux suivant les affûtages, et cette différence irait en augmentant avec l'usure de la fraise, consécutive aux affûtages nécessaires.

Une telle fraise ne peut donner satisfaction.

Le problème à résoudre était donc celui-ci. Construire une dent de fraise, à détalonnage rectiligne, c'est-à-dire à surface enveloppe engendrée par une droite, et établir cette fraise pour que les profils taillés par les coupes consécutives aux affûtages successifs soient suffisamment constants pour donner le résultat pratique cherché.

Le problème a été résolu en donnant en principe à la denture de la fraise la forme d'un tronc de conoïde, c'est-à-dire la forme d'un solide à surface réglée, engendrée par une droite qui, restant constamment parallèle à un plan perpendiculaire à l'axe de la fraise, se meut dans l'espace en glissant, d'une part sur un profil donné, et d'autre part sur une droite fixe, parallèle à l'axe de la fraise.

La génératrice du tronc de conoïde formant dent de la fraise, restant parallèle au plan perpendiculaire à l'axe de la fraise, les côtés ou flancs de la dent sont dans des plans parallèles, d'où il résulte que, quelle que soit l'usure de cette dent, les transversales horizontales qui mesurent les différentes épaisseurs de la fraise sont constantes; il n'y a donc aucune variation quant aux épaisseurs, et les différents profils taillés par les coupes successives, consécutives aux affûtages, auront mêmes dimensions de largeur.

Si maintenant, nous avons établi la denture pour que la première coupe, ou coupe d'établissement 1 (fig. 9) taille un certain profil dont la hauteur soit mesurée par la distance radiale C entre les deux arcs extrêmes A et B et que, d'autre part, l'angle au sommet du conoïde générateur soit choisi de valeur telle que, si nous coupons la dent par un plan parallèle à 1 pour déterminer une coupe d'affûtage 2, nous ayons $d = d_1$ (d étant la distance radiale entre les deux arcs extérieurs A et A_1 que décrira le sommet de la dent pendant la taille suivant les coupes 1 et 2, et d_1 la distance radiale entre les deux arcs intérieurs B et B_1 que décrira la base de la dent pendant la taille suivant les mêmes coupes 1 et 2), l'égalité de d et de d_1 entraîne l'égalité entre les distances radiales C et C_1 qui mesurent la hauteur des profils taillés suivant les coupes 1 et 2, les profils taillés étant égaux entre eux en largeur

comme nous venons de le voir — parallélisme des flancs — et en hauteur suivant ce qui précède, seront égaux entre eux et les profils taillés par une dent, ainsi conformés, seront pratiquement constants.

La forme conoïdale est la base de la construction de notre fraise pour obtenir la constance nécessaire des profils taillés. La valeur de l'angle au sommet du conoïde générateur que, pour la facilité de la démonstration, nous avons figuré relativement appréciable, est évidemment variable et peut acquérir une valeur très faible suivant les dimensions de la fraise, le rapport entre la hauteur de la dent et le diamètre de la fraise, la valeur de l'angle de coupe β de la dent, et la position de celle-ci par rapport à l'axe de la fraise.

Le principe de la conformation conoïdale de la dent, son détalonnage,

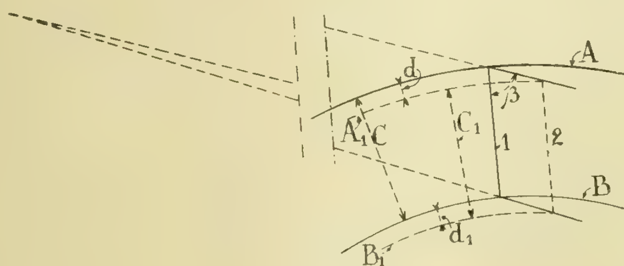


Fig. 9.

sur machines spécialement étudiées à cet effet et construites par nous, assurent aux profils taillés une constance aussi rigoureuse que possible.

Nous avons donc établi une fraise à denture :

1° A détalonnage rectiligne, sous un angle de coupe approprié pour obtenir le maximum de dégagement ou détalonnage de la coupe, compatible avec les travaux de fraisage;

2° Conoïdale, pour obtenir la constance nécessaire des profils taillés.

Ainsi comprise, cette fraise est à taillant dégagé, à coupe franche et nette, comparable en quelque sorte à la taille d'une fraise à denture fraisée.

Pour compléter cette fraise et en faire un outil de fraisage rationnel donnant le maximum de rendement, nous avons sectionné la surface enveloppe de chaque dent par un système d'encoches réparties en position alternée et symétrique sur l'ensemble des dents (fig. 10). La valeur des encoches creusées dans chaque dent, la valeur des « pleins » laissés dans la ou les dents, qui se suivent, l'alternance et la répartition de ces pleins et de ces encoches sont telles que, finalement, le profil taillé est exactement, sans solution de continuité aucune, le profil exact pour lequel a été établie la fraise.

Cette disposition a pour objet la diminution de la surface taillée par chaque dent, en même temps que le sectionnement du copeau enlevé.

Ainsi construite, chacune des dents, au lieu de se présenter comme un seul outil à large surface de coupe et profil continu, n'est plus, en quelque sorte, que la combinaison d'une série de petits outils travaillant, chacun pour son compte, à la taille d'une portion réduite du profil et concourant ensemble cependant, par leur disposition même, à l'exécution exacte du profil voulu.

On comprend que cette conformation encochée de la coupe taillante de la dent diminue l'effort nécessaire à la pénétration de la fraise dans la pièce à tailler et permet de lui donner une avance-tour plus élevée. On comprend également que, dans les cas particuliers des fraises à profil symétrique (fraises



Fig. 10.

pour engrenages par exemple), l'exacte répartition des parties taillantes sur le développement de la coupe maintient constante et égale la pression de travail à droite et à gauche de la dent, d'où équilibrage parfait sans poussées latérales nuisibles.

D'autre part, l'encochage ayant pour effet de creuser la périphérie de la dent d'une sorte de série de petits canaux, débouchant sur la coupe elle-même, le liquide d'arrosage arrivera en plus grande abondance et plus facilement sur la coupe en travail, d'où meilleure lubrification et refroidissement mieux assuré, et, conséquemment, possibilité d'augmenter encore les vitesses de coupe.

Outre le meilleur rendement de cette fraise quant au travail produit, il y a lieu de tenir compte également de l'économie réalisée du fait que la fraise demande des affûtages moins fréquents, d'où économie de main-d'œuvre et économie de l'outil.

A l'appui de ce que nous venons de dire, nous citerons quelques résul-

tats obtenus avec nos fraises, en limitant les citations aux seules maisons qui se servent de nos fraises depuis quelque temps déjà, de manière à ne présenter que des résultats pratiques.

Maison Charles Blum et Cie. Automobiles Latil.

Travail exécuté sur machines Goult Eberhardt et Reneiker. Fraise au module 4, taillant des pignons en acier à 45 kg de résistance, longueur de dent 108 mm.

1° *Vitesse de coupe 25 m (42 cm : s), serrage 225 mm/minute*, un affûtage est nécessaire toutes les 104 dents, soit après exécution de 11,200 m de denture taillée.

2° *Vitesse de coupe 25 m (42 cm : s), serrage 175 mm/minute*, un affûtage est nécessaire toutes les 370 dents, soit après exécution de 40 m de denture taillée.

La fraise travaillant en service courant, suivant ces dernières données (vitesse 25 m (42 cm : s), serrage 175 mm, a taillé jusqu'à complète usure, *mille deux cents* mètres de coupe, soit, si nous supposons toutes les dentures à la longueur indiquée plus haut, plus de 11 100 dents de 80 mm de longueur.

Fraise au module de 5, dans de l'*acier nickel-chrome à 85 kg de résistance :*

Vitesse de coupe 18 m (30 cm : s), serrage 100 mm/minute. La fraise travaille normalement suivant ces données, un affûtage est nécessaire tous les 38 m de denture taillée.

Le rendement des fraises B. B. que nous avons en service est supérieur de 175 p. 100 au rendement des fraises détalonnées ordinaires que nous avons en service.

Maison Savy-Jeanjean.

Sur machine à tailler Cincinnati 4 A, dans de la fonte mécanique ordinaire, denture taillée d'une seule passe.

Vitesse et serrage de service normal.

Fraise module 8. *Vitesse de coupe 14 m (23 cm : s), serrage 216 mm/minute.*

Fraise module 9. *Vitesse de coupe 14 m (23 cm : s), serrage 176 mm/minute.* La fraise taille *sans affûtage*, 12 roues de chacune 57 dents, longueur de dent 80 mm, soit 384 dents et une longueur de denture taillée d'un peu plus de 54 m.

Fraise module 5. Vitesse de coupe 14 m (23 cm : s), serrage 270 mm/minute pour roues de 60 mm de longueur de dent, accouplées par 3, le taux de la vitesse est de 200 dents à l'heure.

La machine, établie pour tailles du module de 9, maximum, taille : au module de 9 des roues en acier à 70 kg, sous serrage 87 mm/minute; au module de 11 des roues, en fonte ordinaire sous serrage 188 mm/minute; au module de 15, des couronnes acier à 60 kg sous serrage 20 mm/minute.

Pour terminer, nous citerons comme expérience d'essai les résultats obtenus dans nos ateliers avec une fraise du module de 8, sur machine Newark, sensiblement moins forte que la Cincinnati 4 A. Dans de la fonte ordinaire, cette fraise au module de 8, a été poussée au maximum de serrage de la machine, soit 392 mm/minute. Une roue de 54 dents, largeur 80, a été entièrement taillée à ce serrage. La fraise ne présentait aucune trace de fatigue après cet essai, et a continué à tailler sans affûtage, sous serrage normal, des roues en acier coulé.

Louis Bozonnet.

Fraises jointes au mémoire comme exemples.

1° Fraise à tailler les engrenages. Diamètre 110 mm, 14 dents, alésage 30 mm environ.

2° Fraise boudin. Diamètre 115 mm, 18 dents, alésage 24 mm.

L'auteur préconise la vitesse circonférentielle de coupe pour les fraises de 25 m à la minute (42 cm : s) et il rapporte qu'avec ses fraises, il obtient des serrages pratiques correspondant à des avances de 176 mm et 225 mm à la minute. Il a même poussé l'avance dans la fonte (taille d'engrenage) jusqu'à 392 mm/minute.

Pour ces vitesses et avances, quelle est l'épaisseur du copeau fait par chaque dent?

Fraise D = 110 mm, longueur de la circonférence 345,6 mm; vitesse 25 m.

Nombre de tours à la minute $\frac{250.000}{3.456} = 72$.

Nombre de dents qui travaillent en une minute $72 \times 14 = 1.008$.

Si l'avance était de 100 mm à la minute pour 1.000 dents, l'épaisseur du copeau par dent serait de 0,1 mm, par conséquent pour :

Avance minute.	Copeau par dent.	Copeau par coupe restante, sur fraises encochées.
176 mm	0,176 mm	$\times 2 = 0,352$ mm
225 —	0,225 —	$\times 2 = 0,450$ —
392 —	0,392 —	$\times 2 = 0,784$ —

Avec ces avances aussi fortes, il faut examiner la qualité du travail produit.

M. M.

ORIGINE DE LA POULIE,
DU TREUIL, DE L'ENGRENAGE, DE LA ROUE DE VOITURE, ETC.
ÉTUDE SUR LE FROTTEMENT DES CORDES
ET SUR LES PALANS

(*Fin.*) (1)

10. — La poulie de transmission télédynamique.

On trouve l'origine de la transmission télédynamique dans les transporteurs aériens.

Le premier type de transporteur aérien a été constitué par un câble

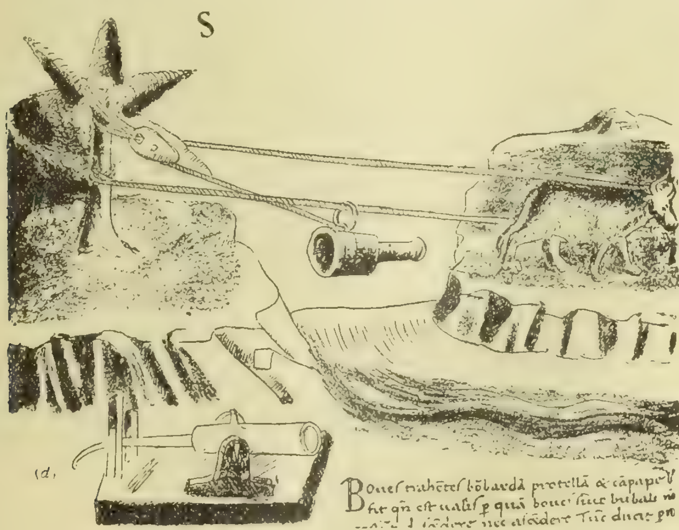


Fig. 63. — Transporteur aérien (Marianus, 1440).

simplement tendu à ses deux extrémités ; la pièce à transporter, suspendue à ce câble, était tirée par une corde.

La figure 63 montre, d'après le manuscrit de Marianus (1440), un transporteur aérien de ce système primitif, au commencement du xve siècle.

La figure 64 montre, d'après un dessin allemand du commencement du xve siècle, un transporteur aérien, constitué par une corde sans fin tendue

(1) Voir le *Bulletin* d'avril 1921, p. 329 à 372.

horizontalement par deux poulies, dont une mue par manivelle à bras; l'autre poulie se trouve alors entraînée par la corde sans fin comme par un câble de transmission.

On peut transmettre une puissance motrice de plus en plus grande, par des poulies commandant des arbres, en augmentant le diamètre des poulies, la largeur des courroies et leur vitesse.

Ainsi, dans leur traité de la fabrication de la fonte et du fer, Flachat, Barrault et Petiet (Paris, 1844, t. II, p. 557) disent que « dans une usine



Fig. 64. — Transporteur aérien (d'après un dessin allemand du xve siècle).

« anglaise du Staffordshire, qui renferme deux marteaux à soulèvement et « un marteau frontal, pesant respectivement 4, 3 et 2 t, battant 90, 120 « et 140 coups, et mus tous trois par la même machine, on n'a employé ni « engrenage ni volant dans la communication de mouvement, et tous les « arbres sont simplement menés par des courroies en cordes plates de « 0 m 20 de largeur, qui s'enroulent sur des poulies d'un grand diamètre « (jusqu'à 5 mètres). Nous pouvons en conclure que les courroies de largeur « suffisante, et marchant à grande vitesse (5 à 6 m : s), ont assez d'adhé- « rence pour résister à des chocs ».

C'est bien là une des premières transmissions télédynamiques.

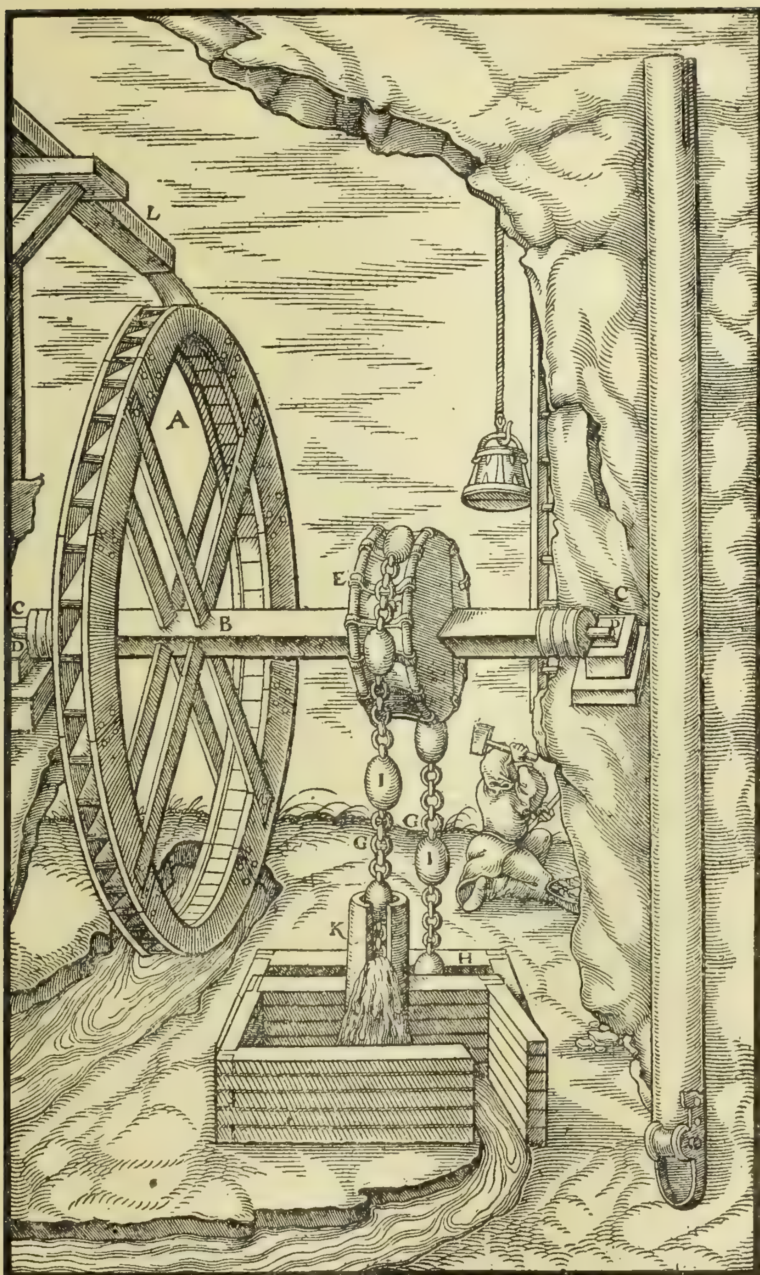


Fig. 65. — Poulie à saillies pour empêcher le glissement de la chaine de traction (Agricola, 1556).

Ferdinand Hirn (le frère de l'illustre Gustave-Adolphe Hirn) prit un brevet, le 21 juin 1860, pour l'emploi de poulies en fonte transmettant par des câbles métalliques, à la plus grande vitesse possible, de très grandes puissances à des distances considérables.

11. — L'engrenage ou poulie dentée.

La légende attribue, paraît-il, l'invention de l'engrenage à Archimède, de Syracuse (297-212 ans avant notre ère).

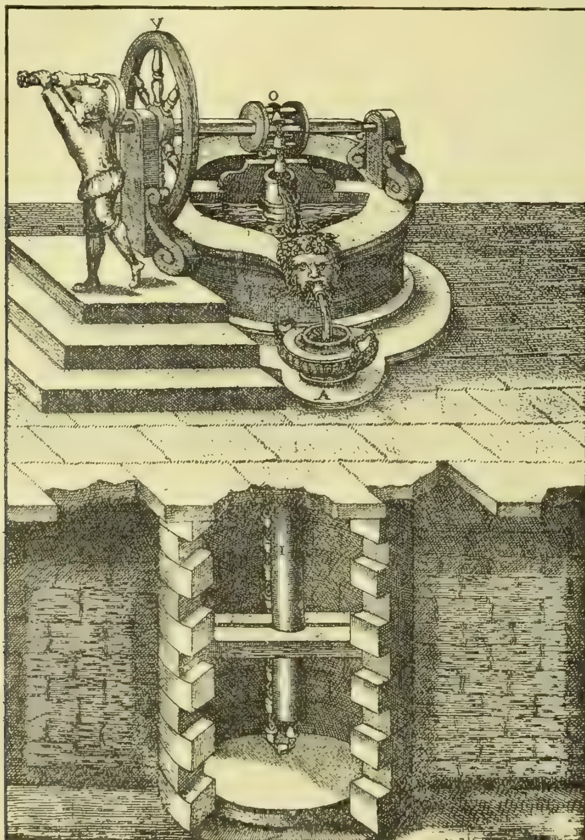


Fig. 66. — Poulie à traverses en échelons, origine de l'engrenage à lanterne (Ramelli, 1588).

J'ai dit ailleurs que la noria ou roue à pots des Égyptiens était l'origine de l'engrenage (1).

Nous venons de voir que pour empêcher le glissement sous la charge des godets des norias, on avait cloué, sur l'arbre du treuil, des crochets (fibules) qui, formant saillies, pénétraient dans les maillons des chaînes porte-godets (fig. 54 et 55).

Ce système de poulies à saillies a été aussi employé pour entraîner les grains des pompes à chapelet (fig. 65), parce que l'effort est grand pour

(1) *Revue de Mécanique*, mai 1910.

enlever la charge, et l'adhérence de la chaîne sur une poulie lisse serait insuffisante; en outre on ne peut donner un enroulement de plusieurs tours à cette chaîne, comme nous l'avons déjà remarqué à propos de la noria (fig 52).

Pour loger, sur la poulie, les godets des norias ou les grains du chapelet des pompes, il faut une cavité d'un assez grand volume, et quand ce logement est obtenu par des crochets (fibules) cloués transversalement sur l'arbre, il faut leur donner une saillie suffisante; un procédé de construction très simple a été celui de la poulie à traverses en échelons, ce que nous appelons aujourd'hui un engrenage à lanterne (fig. 66).

Nous avons vu l'emploi de *fers fourchus* (fig. 17) pour empêcher le glissement de la chaîne sur la poulie entraînée. Sur ce même principe, Léonard de Vinci a donné dans ses manuscrits une pompe dont le chapelet est entraîné par quatre leviers fourchus implantés sur l'arbre moteur, à égale distance angulaire et d'égale longueur, pour agrapher successivement les grains du chapelet (fig. 67). C'est là un engrenage à quatre dents, analogue à l'engrenage à trois dents, l'instrument triangulaire de la noria de Philon de Byzance (fig. 52).

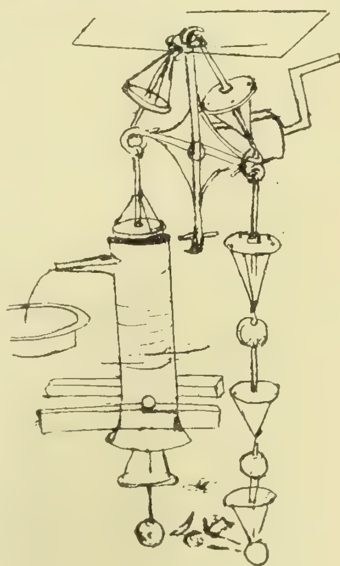


Fig. 67. — Engrenage à 4 dents actionnant une pompe à chapelet (Léonard de Vinci, 1500).

En fait les saillies, obtenues par les crochets implantés sur l'arbre moteur pour empêcher le glissement des norias, sont les embryons des dents d'engrenage, et la première modification a été de remplacer ces fibules ou crochets par des traverses en échelons pour permettre le logement des godets.

Les premières norias datent de l'ancienne Égypte.

Cette machine élévatoire a été introduite d'Égypte en Espagne par les Maures, puis nous la retrouvons en France, beaucoup plus tard, et absolument semblable à l'antique machine égyptienne.

La figure 68 nous donne l'image d'une noria moderne d'après l'*Encyclopédie*; on voit que la roue, destinée à supporter et à entraîner la chaîne continue des pots, comporte des vides également distancés, pour loger ces pots à leur passage.

En marche, sous l'effet de la charge et des à-coups, les pots viennent porter sur les traverses qui réunissent les deux flasques ou joues de la roue de la noria. Ce n'est pas seulement par adhérence de la corde sur cette roue

que le chapelet est entraîné, c'est aussi par la pression de ces traverses sur les pots.

En fait cette roue n'agit pas seulement comme une poulie à surface lisse, elle fonctionne comme une poulie sur laquelle des saillies s'emboîtent dans les parties correspondantes du chapelet; c'est là un *engrenage à lanterne engrenant sur une crémaillère.*

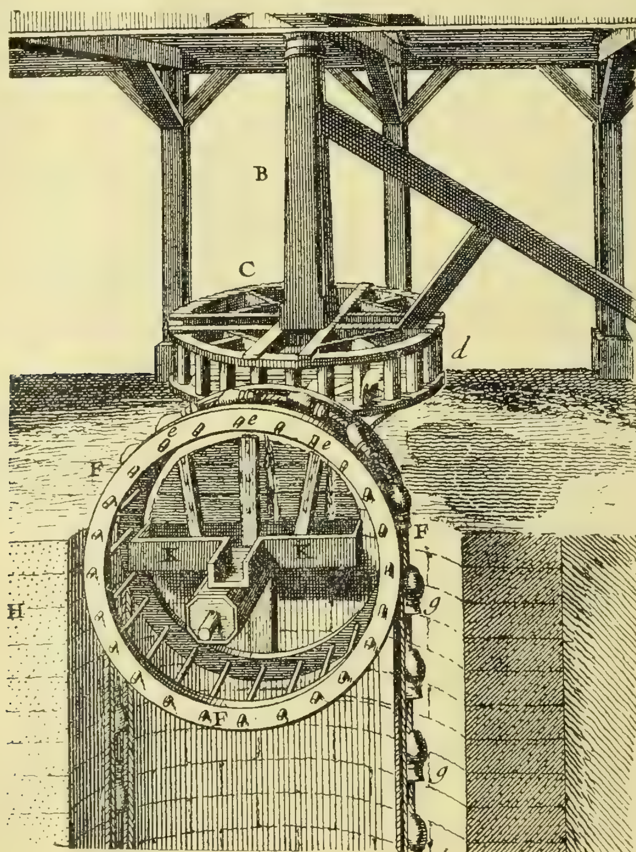


Fig. 68. — Roue de noria hissant les pots, comme un engrenage à lanterne entraîne une crémaillère (*Encyclopédie*, 1760).

La figure 69 nous montre une crémaillère entraînée par un engrenage primitif pour actionner une pompe, d'après Philon de Byzance.

Les premières norias égyptiennes étaient mues à la main par une manivelle calée sur l'arbre horizontal de la roue; quand on voulut actionner les norias par des animaux attelés à un manège dont l'arbre était vertical, il fallut un mécanisme intermédiaire pour transmettre l'effort à la roue, un ouvrier ingénieux mit sur le manège *une autre roue de noria* dont les traverses

entraînèrent, non plus le chapelet de pots, mais la roue de la noria en agissant sur les extrémités extérieures des traverses, comme on le voit sur la figure 68.

12. — Le volant.

Le volant n'est pas nécessairement constitué par une poulie ; ainsi la figure 70 nous montre un volant régularisant le mouvement d'un ventilateur mû par manivelles à bras ; ce volant est fait de quatre rayons munis chacun, à leur extrémité, de masses pesantes.

Mais le plus généralement il sert à la fois de volant et de poulie, ainsi qu'on le voit par exemple figure 71, monté sur une pompe à chapelet mue par deux manivelles malencontreusement calées sur le même diamètre.

Les poulies de commande des figures 16 et 17 sont aussi des volants.

L'Allemand Reuleaux trouve l'origine du volant dans le fuseau à main muni de son peson ou fusaïole ; dans sa *Cinématique* (p. 224, traduction Debize), il dit :

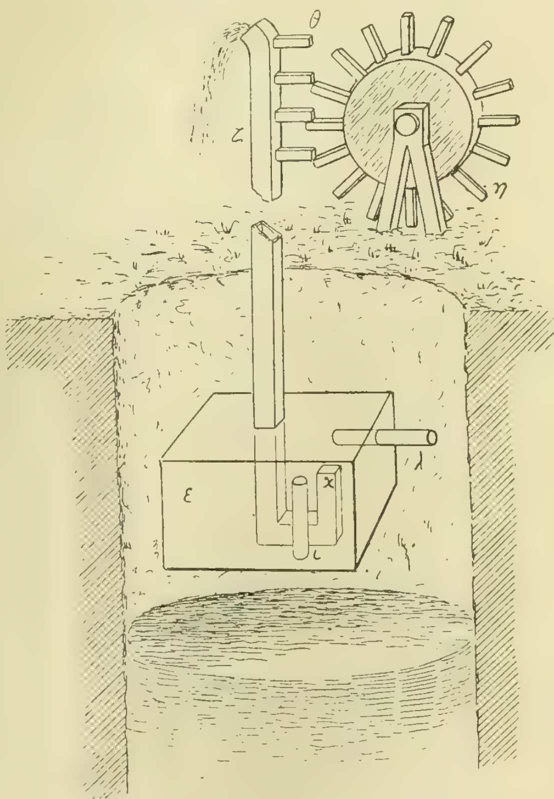


Fig. 69. — Crémaillère entraînée par un engrenage primitif (Philon de Byzance, 2 siècles av. J.-C.).

« Dans le fuseau à main on rencontre la première application de cette « importante découverte, que le mouvement de rotation, une fois produit, « peut être entretenu, pendant un certain temps, par une masse pesante, « faisant office de volant. »

La figure 72 montre un Égyptien filant avec ce fuseau à main.

Les plus anciens fusaïoles trouvés sont d'époques néolithiques.

A mon avis l'origine du volant se trouve dans des outils à produire le feu et à percer, d'une époque très antérieure aux plus anciens fusaïoles.

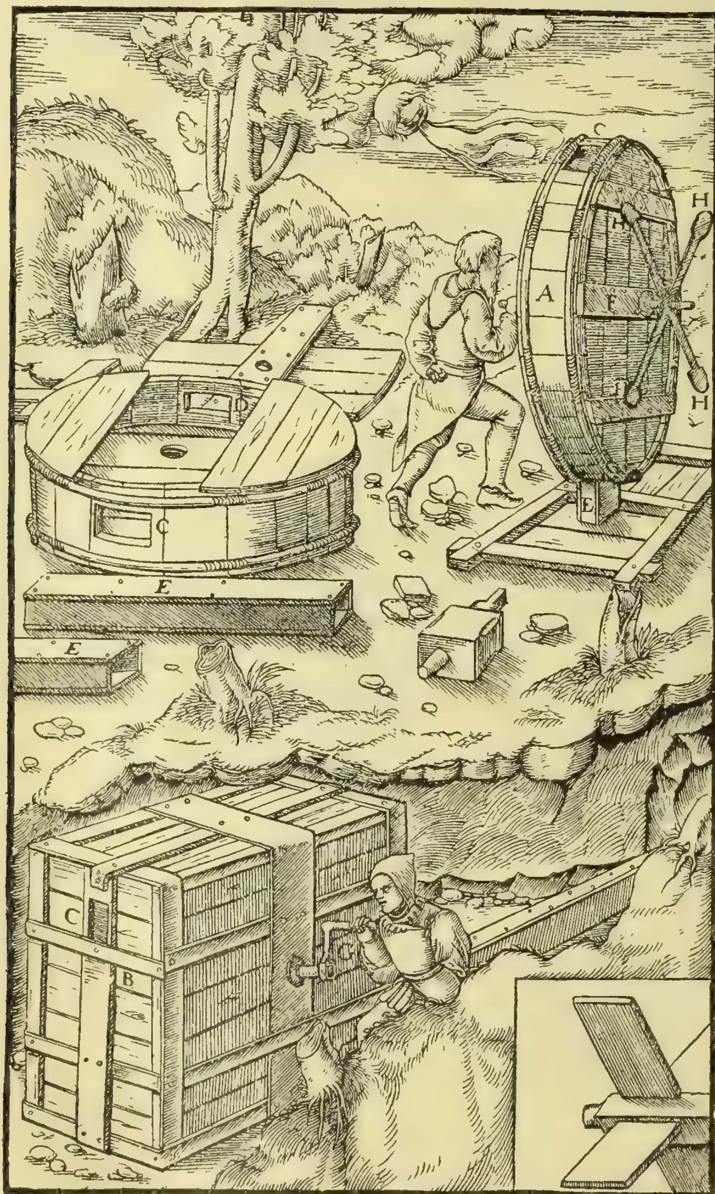


Fig. 79. — Volant à rayons multiples et munis de masses pesantes (Agricola, 1556).

J'ai indiqué, à propos de l'évolution du perçoir (1), cette origine du volant.

Pour faire pénétrer le perçoir dans la pièce à percer, l'ouvrier est obligé

(1) Origine et évolution des outils (p. 79).

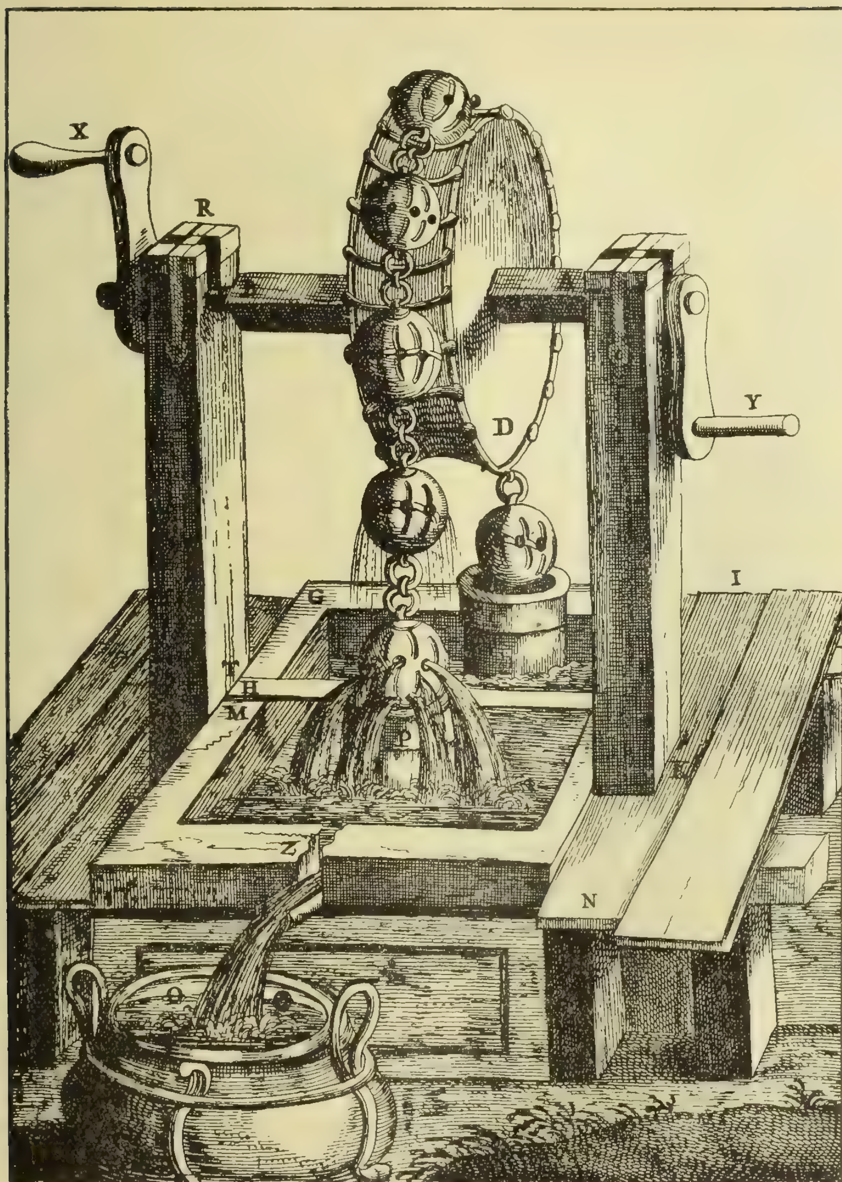


Fig. 71. — Poulie à saillies servant de volant (P. Athanase Kircher; Amsterdam, 1665).

d'appuyer en bout de l'outil, ce qui est une cause de fatigue sensible ; pour atténuer cette fatigue l'ouvrier eut l'idée de remplacer son effort musculaire par la charge d'un poids, comme on le voit sur les figures 73 et 74.

La tarière malaise est chargée de pierres supportées par un panier solidement attaché au fût de l'outil.

Dans le drille de la Nouvelle-Zélande, c'est un cartilage intervertébral durci d'une baleine, qui, fermement fixé sur le fût du drille, lui donne une pression axiale.

Dans le mouvement de rotation du fût la masse de ces charges agit par inertie d'autant plus grande qu'est grande la vitesse de rotation mesurée au centre de gravité de la charge.



Fig. 72. — Fuseau à main du fileur de l'ancienne Égypte.

Ainsi avec le drille de la figure 74, le mouvement étant donné par la traction alternative des deux extrémités d'une corde entourant le fût de petit diamètre, il s'en suit une grande vitesse de rotation.

Au moment du changement de sens de la traction, il faut, par un travail de freinage par glissement de la corde, détruire la force vive précédemment acquise, ce qui occasionne une double perte d'énergie, avant de lancer l'outil dans l'autre sens pour lui donner la vitesse voulue.

Des ouvriers ingénieux ont trouvé le moyen de supprimer cette double perte d'énergie en utilisant le travail acquis au lieu de peiner pour le détruire, et ils ont laissé continuer la rotation de l'outil jusqu'à amortissement. Alors la corde n'entraîne plus le fût, elle est au contraire entraînée par ce dernier et s'enroule dans le sens inverse.

Par une nouvelle traction de la corde, il y alors rotation du fût, mais cette fois en sens contraire (fig. 75).

La charge suspendue au fût ne sert plus de poids pour faire pénétrer la mèche, mais de *volant* pour faire continuer la rotation de l'outil.

Ce volant, monté sur l'arbre du perçoir dont la pointe à une extrémité et la crapaudine à l'autre servent de paliers, est bien par son principe et son fonctionnement le volant du mécanicien dont l'origine est différente et bien antérieure à celle du fusaïole.

13. — L'origine de la roue de voiture.

La similitude qui existe entre la poulie et la roue de voiture autorise la

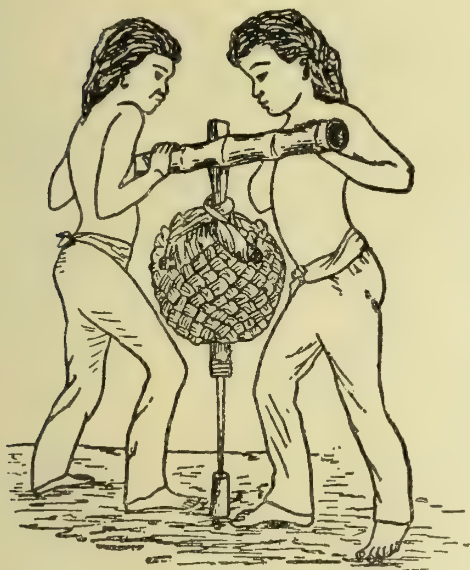


Fig. 73. — Tarière malaise. Ile de Sambock, près Java, d'après Rigg.

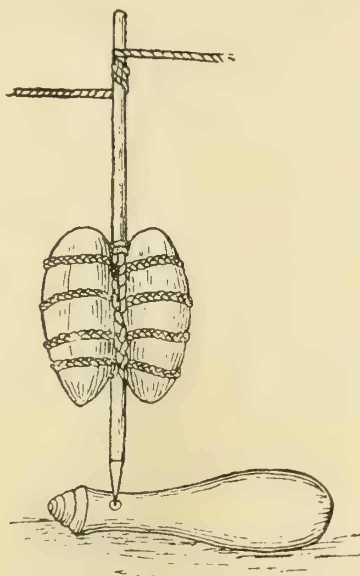


Fig. 74. — Tarière néo-zélandaise (d'après Chapman).

comparaison de ces deux organes pour rechercher la relation possible entre leurs origines.

M. G. Forestier, inspecteur général des Ponts et Chaussées, a publié, en 1900, un mémoire intitulé : LA ROUE, *Étude paléo-technologique*.

Après avoir énuméré, dans ce mémoire, les nombreux documents qu'il a pu réunir sur la roue chez les différents peuples, M. Forestier a renoncé à découvrir l'origine de la roue, et il nous dit (p. 122) :

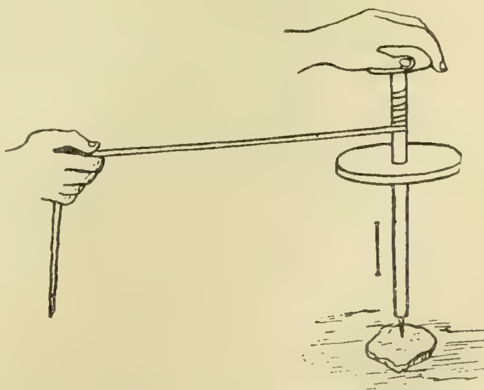


Fig. 75. — Perçoir en toupie (d'après Mc Guire).

« De tous les documents « anciens, seules les annales chi- « noises nous fournissent quel- « ques données à cet égard, en attribuant l'invention du char à roues pleines « à l'empereur semi-fabuleux Houang-ty (2697-2597 avant J.-C.). Chez les

« autres peuples, on ne trouve pas de légende ayant trait à l'invention de la « roue.... Cependant une opinion, très répandue chez les archéologues, « veut que la rondelle folle sur l'essieu dérive du rouleau. »

Puis, après avoir passé en revue toutes les hypothèses proposées, M. Forestier conclut (p. 126) :

« En somme, tout ce dont nous sommes certain, c'est que la rondelle « massive, débitée dans un tronc d'arbre et percée d'un trou, *ne dérive pas du rouleau.* »

La fabrication d'une roue primitive implique un état d'industrie très avancé, il faut non seulement *scier* le bois, mais encore le *percer.*

La scie est postérieure au perçoir et le perçoir à l'ignitérébrateur.

L'ignitérébrateur étant l'origine de la poulie, celle-ci était employée depuis longtemps quand l'homme a été conduit à remplacer le rouleau par la roue dans le transport et il l'a fait en s'inspirant de la poulie qui lui était familière.

14. — Le palier.

Les arbres des poulies tournent avec frottement dans les *paliers* qui les supportent; les transmissions de nos ateliers comportent, avec les poulies, les lignes d'arbres et les paliers.

Dans les machines primitives le *palier est constitué par un lien de corde.*

La figure 76 représente le métier d'un tisserand hindou (1); l'arbre carré, qui opère un mouvement circulaire alternatif, est fait d'une poutre dont les deux extrémités ont été arrondies pour tourner dans un lien de corde qui maintient cet arbre horizontal sur le poteau vertical qui le supporte. Ce lien de corde est semblable aux liens de corde qui maintiennent fixes et solidaires les montants du bâti sur ce métier. La seule différence entre ces deux ligatures est dans l'intensité du serrage de la corde ; pour le lien fixe le serrage est énergique, pour le palier le lien est plus lâche pour permettre la rotation avec un moindre frottement.

Ce système de liens d'arbres permettant la rotation est des plus anciens; quand l'homme primitif sut couper les branches d'arbres, il fit des huttes, des radeaux, des claies en réunissant, côte à côte, des branches à l'aide de lianes; c'est le début de la vannerie.

Nous avons vu, figure 37, une installation de puits dans laquelle les arbres et les traverses sont rendus fixes et solidaires par ce même système de lien de corde.

La figure 77 montre le mode de construction des huttes de nos douaniers,

(1) Solvyns, *Description des Hindous.* Paris, 1808, t. I.

on voit, non seulement des liens très serrés réunissant les branches juxtaposées, mais aussi les deux liens réunissant la porte mobile à l'huisserie fixe, ces deux liens plus lâches que les autres, pour permettre la rotation.



Fig. 76. — Palier en lien de corde, d'un métier à tisser hindou (Solvyns, Paris, 1808).

Dans les antiquités lacustres il y a des portes en bois tournant sur l'angle inférieur découpé en forme de pivot et maintenues à l'angle supérieur correspondant par des lanières de cuir ou des liens de corde passant par des trous (1).

(1) Cournault, *Antiquités lacustres*. Département Estampes. Bibl. Nat. G*b*. 82 *c*, t. II.

Sur la figure 7, on voit un ignitérébrateur dont la crapaudine de rotation, qui sert de palier, est faite d'une coquille.

Sur la figure 76 on voit un *palier en fourchette*, l'arbre mobile est porté par l'extrémité d'un pieu, creusée en réservant deux joues latérales pour maintenir l'arbre.

Dans les manuscrits de Léonard de Vinci on trouve plusieurs paliers de

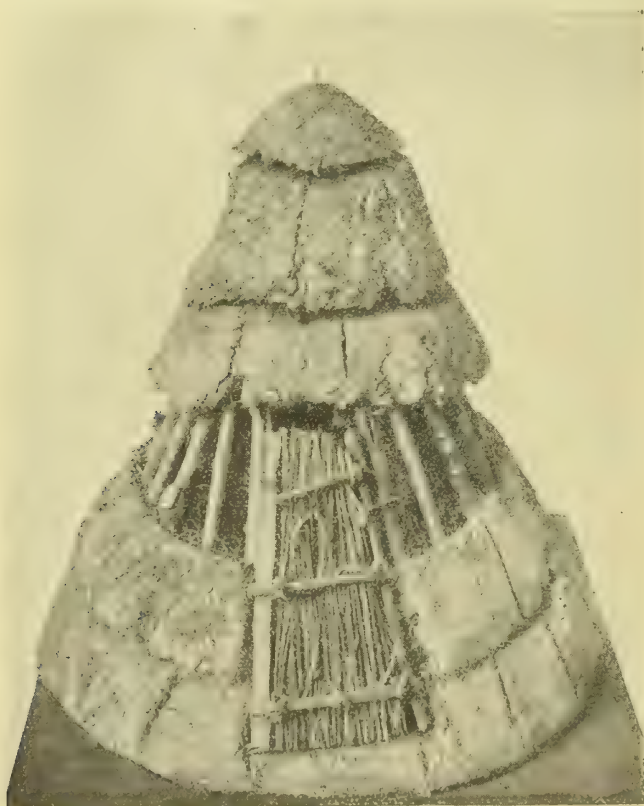


Fig. 77. — Liens embrassant l'huisserie et le montant d'une porte, pour en permettre la rotation. Hutte de douaniers dans les Ardennes (Musée d'Ethnographie du Trocadéro).

ce système : la figure 78 représentant un tourne-broche à poids et la figure 79 une machine à tailler les limes.

Pour atténuer la résistance au frottement des arbres dans leurs paliers, on les a parfois posés sur des galets. Les figures 80 à 82, prises dans les manuscrits de Léonard de Vinci, montrent trois sortes de paliers : un palier ordinaire dans lequel l'arbre frotte en tournant et deux paliers dans lesquels l'arbre roule sur des galets.

Léonard de Vinci a noté : « Lequel de ceux-ci (ces rouleaux) est de plus « facile mouvement, et combien; ou *a*, ou *b*, ou *c*. »

Plusieurs auteurs du XVIe siècle ont montré des machines dans lesquelles le frottement de roulement a été substitué au frottement de glissement.

Nous avons vu cette économie réalisée sur un arbre de noria, figure 55, extraite d'Agricola, et sur des arbres de treuils, figures 17 et 18, extraites de Ramelli.

15. — Le palan.

Nous avons vu que le levier funiculaire du deuxième genre (fig. 27), permet d'équilibrer un effort résistant donné avec un effort mouvant moitié

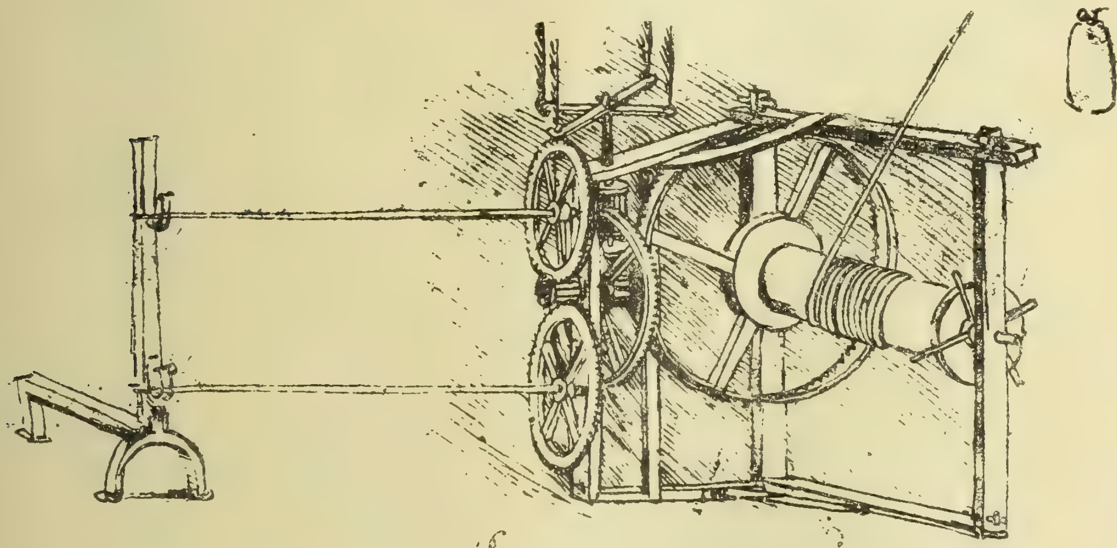


Fig. 78. — Paliers en fourchette dans un tourne-broche à poids (Léonard de Vinci, 1500).

moindre, frottement des cordes à part. Il y a donc parfois intérêt à utiliser ce levier funiculaire permettant de produire un effort double de l'effort mouvant disponible ; c'est ce que font les Esquimaux, figure 29, et nos bardeurs de pierre, figure 46.

La course du point d'application de la force mouvante est double de celle du point d'application de la force résistante ; cette augmentation de course n'a généralement pas d'inconvénient quand ces forces agissent horizontalement. Mais quand la course est grande et qu'elle s'effectue verticalement, on est souvent obligé d'adjoindre un levier funiculaire du premier genre, lequel, théoriquement ne change pas la grandeur des efforts en jeu, sauf ceux qui doivent vaincre les frottements, bien entendu; mais cette adjonction permet de changer soit la direction, soit le sens de l'effort mouvant.

Si l'on accole l'un près de l'autre plusieurs de ces leviers funiculaires du

second genre agissant distinctement, la course du point d'application de la force mouvante restera toujours double de celui de la force résistante; mais

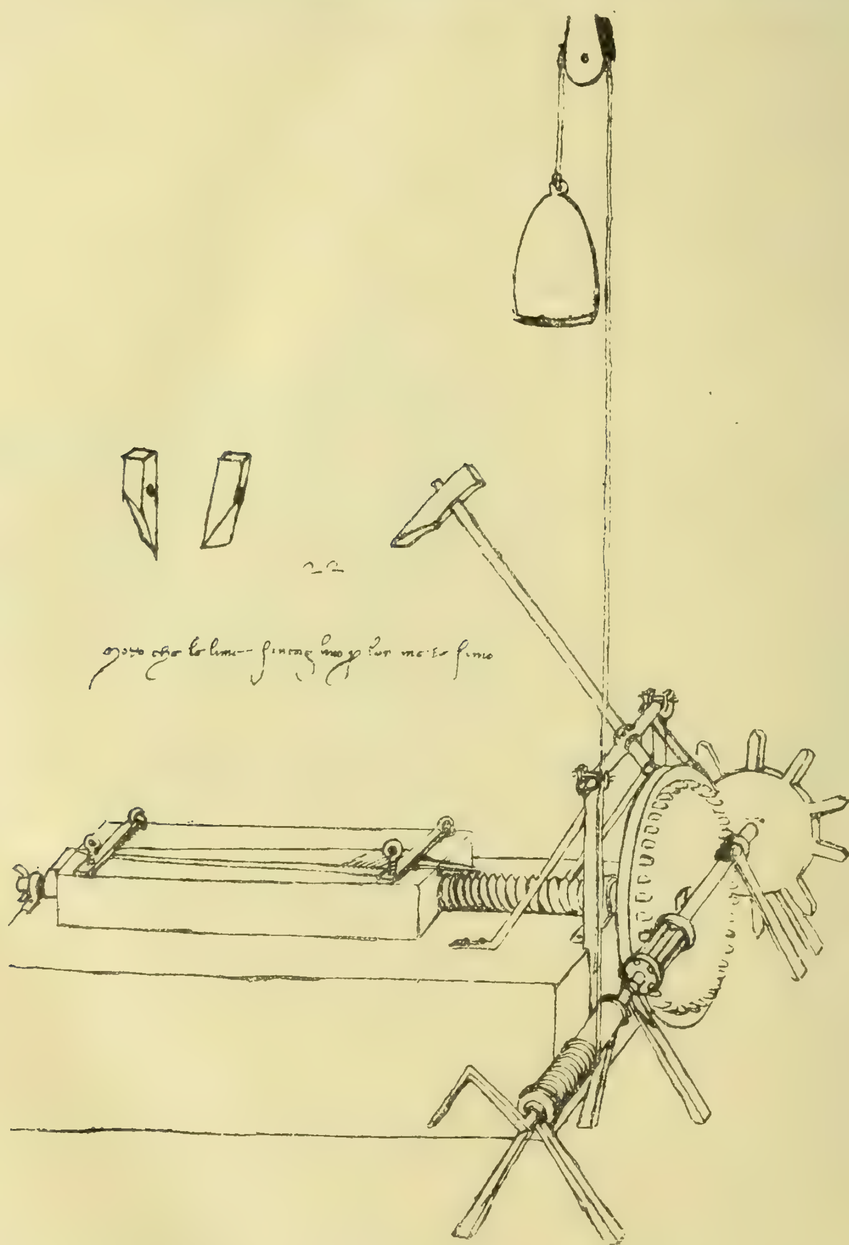


Fig. 79. — Paliers en fourchette dans une machine à tailler les limes (Léonard de Vinci, 1500).

si l'on combine ces leviers funiculaires de telle façon qu'ils agissent successivement l'un sur l'autre, la course du point d'application de la force mou-

vante sera multipliée par chaque adjonction de ces leviers, elle deviendra donc, avec leur nombre, de plus en plus grande, et, inversement, l'effort mouvant nécessaire pour vaincre l'effort résistant sera de plus en plus petit.

C'est cette combinaison de leviers funiculaires du second genre agissant



Fig. 80-81-82. — Roulements sur galets (Léonard de Vinci, 1500).

successivement l'un sur l'autre avec intercalation de leviers funiculaires du premier genre pour changer la direction, qui constitue l'appareil de levage appelé *palan*.

Le mot palan vient du latin palanca, phalanga, qui signifie bâton rond; les portefaix (fig. 83) s'appelaient Palangarius, chez les Romains, parce qu'ils portaient à l'aide de bâtons.

Vitruve (Livre X, chap. II) donne la description du palan dont la corde est tirée par un treuil, en voici la traduction de Perrault (p. 297) :

« Des machines qui sont faites pour « tirer, et dont on se sert aux temples « et aux ouvrages publics. »

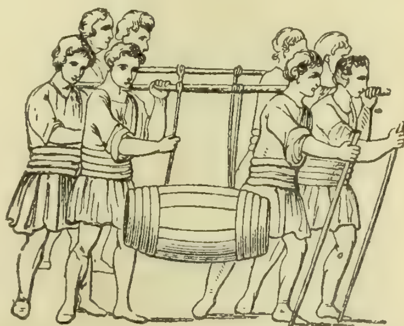


Fig. 83. — Palangarius (portefaix), d'après une lampe en terre cuite gallo-romaine.

« Nous traiterons en premier lieu « des machines qui sont nécessaires « pour la construction des temples et « pour les autres ouvrages publics : « elles se font en cette sorte : On dresse « trois pièces de bois proportionnées à « la pesanteur des fardeaux que l'on « veut élever; elles sont jointes par en haut avec une cheville, et écartées « par en bas. Le haut qui est attaché et retenu des deux côtés par des « écharpes, soutient une *moufle*, appelée par quelques-uns *rechamus*, dans « laquelle on met deux poulies, qui tournent sur leurs goujons. Le cable « qui doit tirer, ayant été passé sur la poulie d'en haut, on le fait ensuite « passer sur une autre poulie, qui est dans la moufle inférieure; ensuite « on le fait revenir passer sur la poulie qui est au bas de la moufle « supérieure, et on fait encore descendre la corde pour en attacher le bout au

« trou qui est en la moufle inférieure. L'autre bout de la corde descend en « bas vers l'endroit où les grandes pièces de bois équarries se retirent en « arrière en s'écartant, et auxquelles sont attachées les amarres qui reçoivent « les deux bouts du moulinet afin qu'ils y puissent tourner aisément. Le mou- « linet vers chacun de ses bouts a deux trous disposés en sorte que l'on y « puisse passer des leviers. On attache à la partie inférieure de la moufle des



Fig. 84. — Chèvres avec palans diversement actionnés (Vitruve, traduction Perrault, 1673).

« tenailles de fer dont les crochets s'accommodent aux trous que l'on fait « pour cela dans les pierres. L'effet de toute la machine pour élever et poser « en haut les fardeaux, est que l'on attache le bout de la corde au moulinet, « qui étant tourné par les leviers, bande la corde qui est entortillée à « l'entour. »

Les poulies (orbiculus) sont logées dans un bâti appelé *trochléa* ou *rechamus*, ce que nous nommons la *moufle*; il y a donc, dans un palan, deux

moufles : la moufle supérieure qui est fixe et la moufle inférieure qui est mobile et porte la charge à lever.

Quand le palan comporte trois poulies, deux dans la moufle supérieure et une dans la moufle inférieure, comme il a été décrit ci-dessus, la machine s'appelle *trispastos* (appareil à trois cordes); quand le palan comporte cinq poulies, deux à la moufle inférieure et trois à la moufle supérieure, il s'appelle *pentaspastos*. Ces poulies sont généralement placées l'une au-dessus de l'autre, mais parfois l'une à côté de l'autre.

Perrault, dans sa traduction de Vitruve, en 1673, a réuni dans une planche (fig. 84) des chèvres munies de leurs palans. Ces chèvres ont leur palan actionné différemment; la première chèvre tire la corde du palan à l'aide d'un treuil; la seconde chèvre tire la corde à l'aide d'un vindas ou cabestan, avec une poulie de transmission ou tambour intermédiaire; la troisième chèvre tire la corde du palan à l'aide d'un grand tympan dans lequel on fait marcher des hommes.

La figure 85 est le croquis d'un bas-relief conservé au Musée de Latran à Rome, et représentant une chèvre et des moufles.

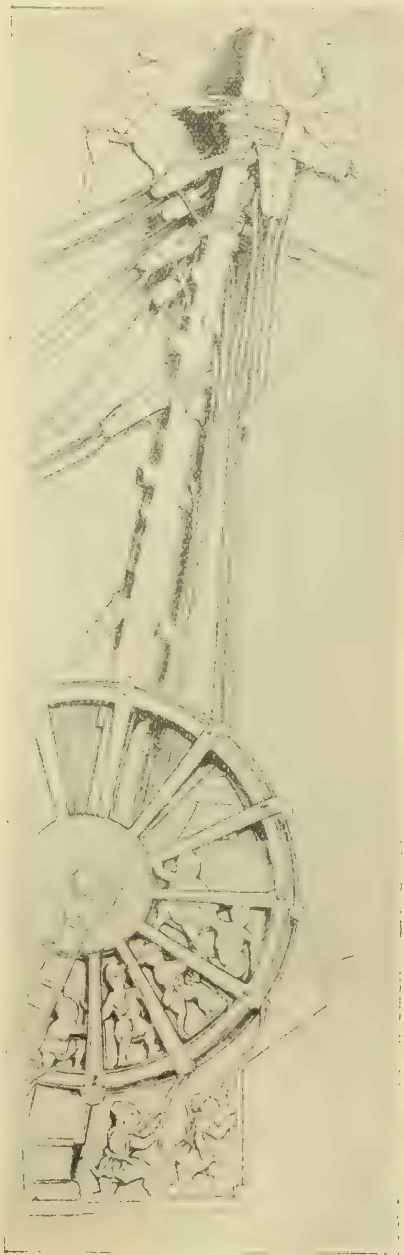


Fig. 85. — Chèvre avec moufles. Croquis d'un bas-relief au Musée de Latran à Rome.

Ces palans à corde sont encore utilisés par la marine, la charpenterie, etc.

On appelle *garant* le dernier lien qui reçoit l'effort moteur et *courants* tous les autres y compris le premier dont l'extrémité est fixée sur la moufle.

Le chemin parcouru par la charge est au chemin parcouru par le point d'application de la force mouvante comme l'unité est au nombre des courants.

En effet, quand la charge s'est élevée d'une certaine quantité h, tous les

liens qui vont d'une poulie à l'autre se sont raccourcis chacun de cette longueur h et comme la longueur totale n'a pas varié, il faut que le lien libre, le garant, se soit allongé d'une longueur égale à autant de fois la hauteur h, qu'il y a de courants.

16. — Le treuil différentiel.

Si, sur un treuil ordinaire, une charge est supportée par le milieu d'une corde dont les deux brins sont enroulés dans le même sens, comme on le

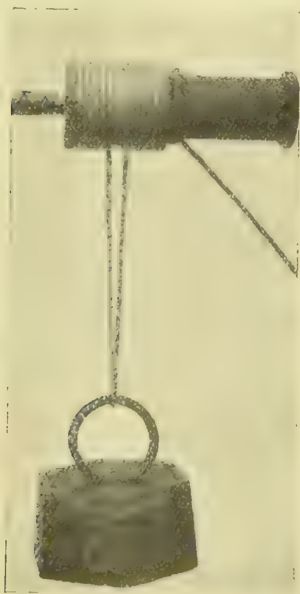


Fig. 86. — Treuil dont la charge reste à la même hauteur malgré la rotation de l'arbre.



Fig. 87. — Treuil différentiel produisant un effet utile.

voit figure 86, le mouvement de ce treuil ne produira aucun déplacement de la charge parce que, à un enroulement donné d'un brin de la corde, correspondra un déroulement égal de l'autre brin.

Mais si le treuil est composé de deux cylindres de diamètre différent sur chacun desquels s'enroule un des brins de la corde, comme on le voit figure 87, il y aura à chaque mouvement de ce treuil un effet utile produit, suivant le sens de rotation la charge montera ou descendra.

La *course* effectuée par la charge sera moindre que la course de la main qui produit l'effort sur la manivelle et, inversement, l'*effort* produit par la main sera augmenté et permettra de lever une charge plus grande que cet effort.

C'est donc là un autre levier funiculaire dit différentiel.

On voit l'application de ce treuil sur une chèvre, dite chinoise (fig. 88), photographie d'un modèle exposé dans les galeries du Conservatoire des Arts et Métiers à Paris. Un tour de manivelle produit un enroulement égal à $2\pi R$ de l'un des brins et un déroulement $2\pi r$ de l'autre brin, ce qui fait une variation $2\pi(R - r)$ de la boucle pendante, ou une élévation $\pi(R - r)$ de la poulie mobile porte-charge.

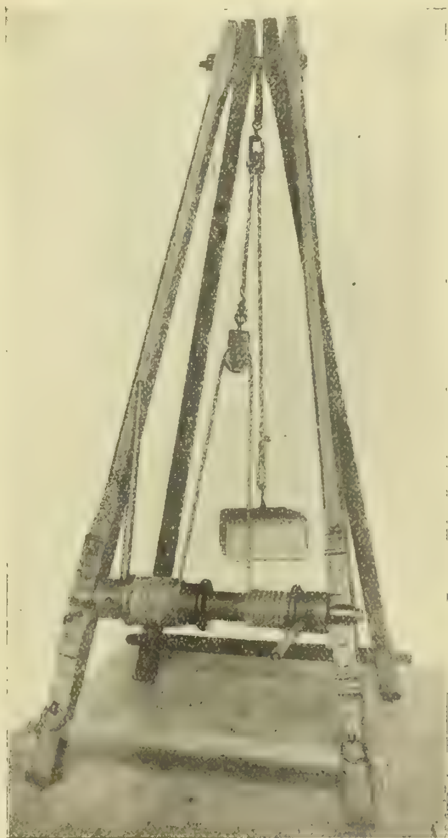


Fig. 88. — Chèvre chinoise avec treuil différentiel (Conservatoire des Arts et Métiers, n° 1122).

On peut ainsi réaliser un rapport de vitesse aussi petit que l'on veut en prenant des cylindres de rayons presque égaux.

Plus le rapport de vitesse est petit, plus il faut tourner le treuil et enrouler de corde, ce qui exige une grande longueur des cylindres du treuil pour permettre de placer toute la longueur de corde.

17. — Palan différentiel.

Sur le même principe que celui du treuil différentiel est construit le palan différentiel.

La différence consiste à enrouler une chaîne au lieu d'une corde, de façon à pouvoir, sous forte charge, éviter tout glissement, les anneaux de la chaîne étant retenus dans des logements en creux à la périphérie de la poulie; puis à n'enrouler que moins d'un tour sur chacune des deux poulies correspondant aux deux cylindres du treuil différentiel, comme nous l'avons vu faire pour des treuils n'enroulant que de la quantité de spires nécessaires pour éviter tout glissement.

La chaîne sans fin passe sur les deux poulies de diamètre peu différent et la boucle pendante soutient la poulie mobile qui porte la charge (fig. 92).

L'axe des deux poulies solidaires est fixe dans la chape et le travail absorbé par le frottement est d'autant plus élevé pour une charge donnée,

que la différence de diamètre des deux poulies est moindre parce que le

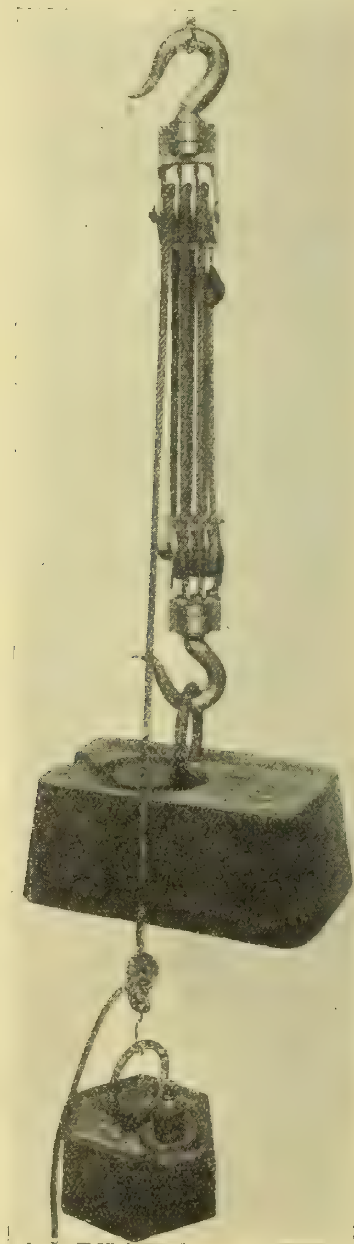



Fig. 89-90. — Mesure de l'effort de traction sur un palan, pour monter une charge de poids connu.

nombre de tours des poulies va en augmentant d'autant plus, pour la même course ou soulèvement de la charge, que les rayons des poulies sont voisins;

plus le palan diminue l'effort moteur, plus il augmente la course de la manivelle et la dépense de travail pour vaincre les frottements.

18. — Le palan à vis sans fin.

Un palan très employé dans l'industrie est celui dont la commande s'effectue par vis sans fin (fig. 93).

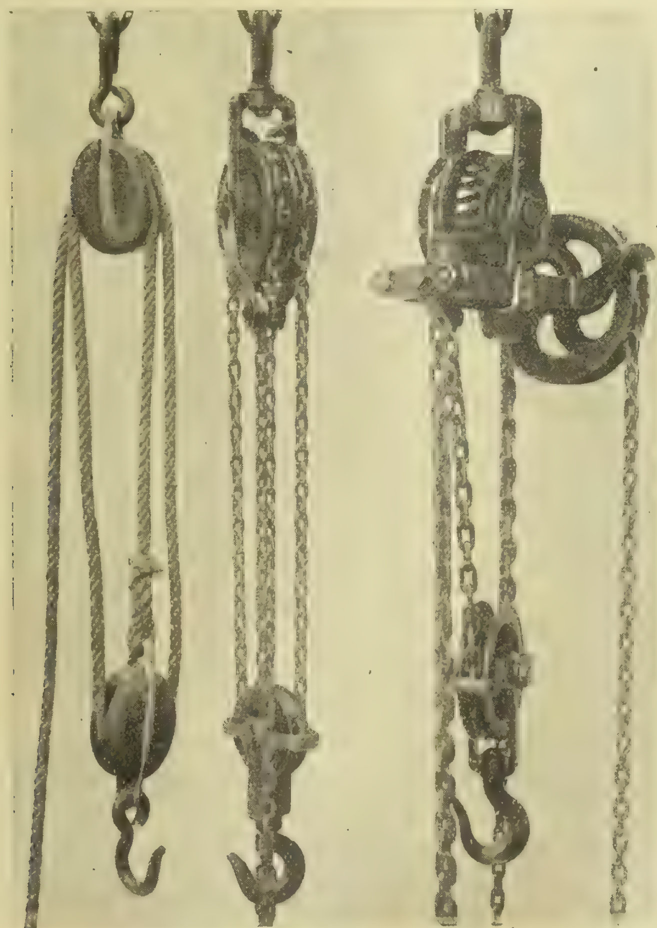


Fig. 91. — Palan à corde. — Fig. 92. — Palan différentiel à chaine.
Fig. 93. — Palan à vis sans fin.

Ce palan est constitué par un levier funiculaire du deuxième genre, complété par un levier funiculaire pour changer le sens de traction de la chaîne.

Cette combinaison, que nous avons vue figures 44, 45 et 46, donne à la

charge une course *moitié* de celle de la main motrice et pour multiplier suffisamment le rapport des deux courses correspondantes et cela en vue d'augmenter le rapport de l'effort moteur à l'effort utile, un engrenage solidaire de la poulie supérieure est entraîné par une vis sans fin.

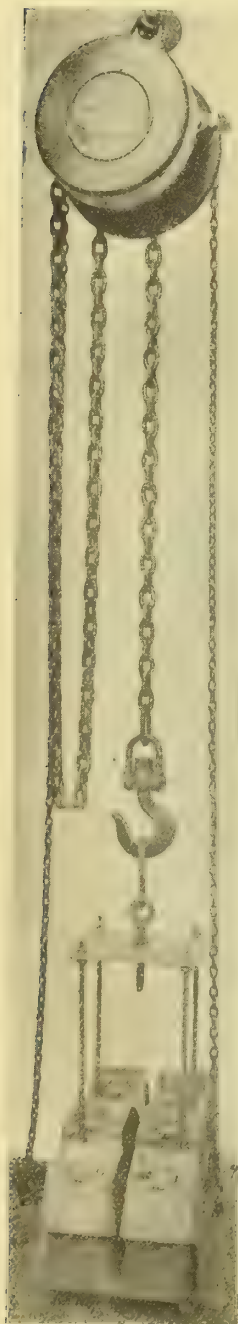


Fig. 94.
Palan à engrenages.

19. — Le palan à engrenages.

Le rendement de la vis sans fin étant faible : 0,25 environ, celui du palan muni de cet organe est aussi très faible.

On augmente très sensiblement ce rendement en utilisant des engrenages (fig. 94).

20. — Le rendement des palans.

J'appelle rendement d'un palan le rapport $\frac{Tu}{Tm}$ entre le travail utile T*u*, rendu par ce palan, et le travail moteur T*m*, qui lui est nécessaire pour produire ce travail utile.

La différence $Tm - Tu$ est le travail T*f* absorbé, par les résistances passives, notamment par le frottement.

Pour calculer le rendement d'un palan, il faut donc connaître le travail moteur et le travail utile correspondant.

Dans le fonctionnement d'un palan, le rapport, entre la course du point d'application de la force résistante et la course correspondante du point d'application de la force mouvante, est une quantité constante; il faut donc l'établir une fois pour toutes.

Cette constante étant connue, pour calculer le rapport du travail utile au travail moteur correspondant, il suffit de connaître, pour un effort utile donné P*u*, l'effort moteur P*m* produit par la main de l'ouvrier.

Les palans sont parfois employés pour exercer un grand effort de traction dans une direction autre que la direction verticale, dans ce cas l'effort P*u* est la résistance à la traction que doit vaincre le palan.

Les palans servent aussi très souvent pour *descendre une charge*, dans ce

cas, cette charge doit être considérée comme étant la force mouvante P*m*, et l'effort antagoniste exercé par la main de l'ouvrier pour soutenir et équilibrer la charge pendant sa descente est alors l'effort résistant P*u*.

Théoriquement, pour un même palan, le rapport des efforts correspondants P*u* et P*m* est constant, mais pratiquement il peut y avoir quelque différence, par suite de variations dans les résistances passives; il est donc nécessaire d'établir un graphique des résultats d'une série d'expériences effectuées sous des charges croissantes en vue de mesurer les efforts antagonistes correspondants.

En réunissant par une ligne continue les points obtenus par les expériences, on rectifie les petits écarts dus aux erreurs de lecture par exemple, et le graphique permet alors d'évaluer l'effort nécessaire pour lever une charge quelconque, inférieure à la charge la plus élevée expérimentée.

Dans une certaine limite on peut, en se basant sur ce graphique, extrapoler et admettre pour des efforts plus élevés, le même rapport des efforts correspondants P*u* et P*m*.

Un poids étant posé au crochet de la moufle mobile du palan, pour mesurer l'effort P*m* nécessaire pour lever ce poids P*u*, on peut se servir d'un peson dynamométrique (fig. 89).

On constate, en tirant sur ce peson, que pour lever le poids P*u*, il faut d'abord un effort de démarrage plus élevé que l'effort moyen nécessaire pour continuer la traction, puis une série d'efforts variés pendant toute la durée de cette traction. Ces variations des efforts de traction résultent des différences dans les frottements, elles sont moindres avec des appareils plus parfaits.

En pratique il est assez difficile d'établir, à première vue, la lecture de l'effort moyen, aussi l'usage du peson dynamométrique n'est utile que pour évaluer au moins approximativement les écarts possibles pendant la traction. Pour obtenir l'effort moyen plus exactement il faudrait avoir recours à un peson enregistreur.

Mais la mesure du rendement d'un palan ne nécessite pas absolument cette précision, et l'approximation obtenue est suffisante en effectuant la mesure à l'aide de poids jusqu'à rupture d'équilibre et entraînement de la charge au crochet de la moufle inférieure (fig. 90), le graphique signalant les écarts trop importants nécessitant un nouvel essai de contrôle.

Pour déterminer le poids P*m*, il faut s'aider de la main, pour évaluer de combien l'effort cherché est plus grand ou plus petit que le poids approximatif essayé; par des tâtonnements successifs, on approche de la vérité.

Des essais de rendement ont ainsi été effectués sur les deux petits palans à corde (fig. 89 et 90). Dans ces essais, j'ai d'abord constaté que, sous des

charges croissantes de 10, 20, 30 et 40 kg, l'effort moteur était proportionnel à la charge soulevée; des petits écarts, causés par les irrégularités de frottement et faciles à rectifier sur le tracé graphique comme il a été expliqué, ne peuvent être considérés comme en opposition à cette loi de proportionnalité.

Le petit palan à 4 brins (fig. 89) a donné à l'essai les résultats suivants :

Pour lever une charge de 40 kg à 1 m de hauteur, il faut produire sur le garant un effort de 21 kg; ce palan ayant 3 brins courants, la course du point d'application de la force mouvante est trois fois la hauteur à laquelle la charge est soulevée; le travail moteur T*m* est donc 21 kg $\times$ 3 m $=$ 63 kgm. Le rendement $\frac{Tu}{Tm}$ de ce petit palan est $\frac{40}{63} = 0,635$.

Pour descendre cette même charge de 40 kg, la main doit exercer un effort résistant de 8,5 kg pour équilibrer l'effort moteur et permettre d'effectuer lentement la descente.

Le travail moteur, pour une descente de 1 m de hauteur est donc de 40 kg et le travail résistant correspondant est donc de 8,5 kg $\times$ 3 m $=$ 25,5 kgm.

Le rendement du palan utilisé pour la descente de la charge est donc de $\frac{25,5}{40} = 0,635$.

Le rendement est donc le même dans les deux opérations de montée ou de descente d'une charge.

Le petit palan à moufles métalliques (fig. 90) et qui appartient aux collections du Conservatoire des Arts et Métiers, sous le N° 5589, a donné aux essais les résultats suivants :

Ce palan ayant 6 brins courants, la course de la main tirant le garant est de 6 fois la course correspondante de la charge levée.

Pour élever une charge de 40 kg à 1 m, $Tu = 40 \times 1 = 40$ kgm, il faut opérer, sur le garant, une traction de 10,400 kg; le travail moteur T*m* est ainsi de 10,400 kg $\times$ 6 m $=$ 62,4 kgm et le rendement $\frac{40}{62,4} = 0,64$.

Pour effectuer la descente de la même charge de 40 kg, il faut tendre le garant d'un effort de 4,2 kg; par une descente de 1 m il faut dépenser un travail de 4,2 kg $\times$ 6 m $=$ 25,2 kgm ; le rendement $\frac{25,2}{4} = 0,63$, peut donc être considéré comme étant le même pour les deux opérations de sens contraire.

Les deux moufles de ce palan ont chacune 3 poulies, en en utilisant successivement une, puis deux, puis trois et en permutant les deux moufles pour avoir le point fixé d'attache du premier brin, tantôt sur la moufle supérieure, tantôt sur la moufle inférieure, on dispose, par ces combinaisons, successivement de palans à 2, 3, 4, 5 et 6 brins courants. Ces combinaisons donnent successivement des palans dans lesquels le rapport de la course de

la main motrice est à celle de la course utile comme 1 est à 2, à 3, à 4, à 5 et à 6.

Des essais effectués sous des charges croissantes de 10, 20, 30 et 40 kg ont montré que le rendement des palans diminue avec le nombre des brins de corde utilisés.

Avec 2 brins courants le rendement a été de 0,80;
— 3 — — — 0,77;
— 4 — — — 0,73;
— 5 — — — 0,685;
— 6 — — — 0,64.

Ces palans à corde ne maintiennent pas la charge suspendue, parce que l'effort pour vaincre le frottement est moindre que la charge levée; si l'effort sur le garant vient à cesser, le palan *dévire*, c'est-à-dire que la corde est entraînée par la charge.

Pour éviter des accidents possibles, certains de ces palans à corde sont munis d'organes retenant automatiquement la charge ; ce sont des encliquetages ou des freins qui agissent sur la corde et la retiennent.

J'ai essayé les 4 palans : 1° (fig. 91) qui est un palan à corde semblable au palan (fig. 89), mais avec des poulies plus grandes et une corde de 13,5 mm de diamètre; 2° (fig. 92) qui est un palan différentiel à chaîne; 3° (fig. 93) qui est un palan à chaîne avec vis sans fin; 4° (fig. 94) qui est un palan à engrenages.

Les deux palans à chaîne ont été d'abord essayés dans l'état de graissage ancien dans lequel ils se trouvaient, puis ensuite après un graissage récent.

Les charges successivement levées ont été en croissant jusqu'à 153 kg. Dans ces essais j'ai constaté, comme précédemment, que les efforts moteurs étaient proportionels aux charges levées.

Pour permettre la comparaison de ces quatre palans j'ai réuni dans le tableau ci-dessous, les résultats correspondants, obtenus pour chacun d'eux par charges de 100 kg soulevées à une même hauteur de 1 m.

Essais comparatifs de 4 palans de système différent (fig. 91, 92, 93, 94), chacun d'eux levant une charge de 100 kg a 1 m de hauteur.

		Palan à corde bien graissé.	Palan différentiel peu graissé.	Palan différentiel bien graissé.	Palan à vis sans fin peu graissé.	Palan à vis sans fin bien graissé.	Palan à engrenages peu graissé.
Effort utile (la charge),	P_u en kg.	100	100	100	100	100	100
Effort moteur de la main,	P_m —	47,50	16,50	14,50	8	6,90	3,24
Espace parcouru par la main,	en *m*.	3	23	23	62	62	45,45
Travail résistant utile,	T_u en kgm.	100	100	100	100	100	100
Travail passif (frottements),	T_f —	43	280	234	396	328	47,25
Travail moteur dépensé,	T_m —	143	380	334	496	428	147,25
Rendement,	$\frac{T_u}{T_m}$	0,70	0,26	0,30	0,20	0,23	0,68

Le palan à corde (fig. 91) a donné un rendement de 0,70; rappelons que les palans (fig. 89 et 90), avec petite corde et 3 brins courants, ont donné respectivement un rendement de 0,635 et 0,77.

Le rendement de 0,77 pour le palan (fig. 90), s'explique par la parfaite exécution des moufles métalliques. Le rendement 0,70 du palan (fig. 91) est moyen entre les deux autres.

Le rendement des deux autres palans à chaîne n'est donc que le tiers environ du palan à corde, à première vue on serait tenté de conclure que c'est ce dernier qui devrait être choisi par l'ouvrier qui dispose de ces systèmes différents. Il n'en est pas ainsi cependant parce que le palan à corde à bon rendement relatif de 0,70 à 0,75 exige un effort de traction trois fois plus élevé que le palan différentiel (fig. 92), 7 fois plus élevé que le palan à vis sans fin (fig. 93) et 15 fois plus élevé que le palan à engrenages (fig. 94).

On comprend que pour produire un effort 15 fois plus faible, l'ouvrier peut, tout en se fatiguant moins, donner une vitesse beaucoup plus grande.

L'ouvrier n'utilise le palan à corde que pour lever de faibles charges.

On peut être étonné du faible rendement 0,30 du palan différentiel (fig. 92), cet appareil n'ayant pas d'organe intermédiaire autre que les poulies.

Mais, comme je l'ai fait remarquer précédemment, la poulie différentielle doit fournir une grande course pour une élévation relativement faible de la charge, ce qui exige, pour vaincre les frottements, une dépense de travail d'autant plus élevée que les rayons des deux poulies différentielles sont voisins. En outre cette poulie différentielle porte tout le poids de la charge sur son axe de rotation. Il en est de même pour la poulie inférieure qui porte la charge totale et qui tourne avec la même vitesse linéaire que la poulie différentielle.

Pour m'édifier sur l'importance des frottements de ces deux poulies, j'ai suspendu une chaîne sans fin sur une poulie à empreintes de maillons semblables; les deux brins pendants ayant toujours la même longueur et par suite le même poids, j'ai suspendu, sur chaque brin pendant, des poids égaux pour s'équilibrer et j'ai mesuré l'effort nécessaire pour rompre cet équilibre et connaître la valeur du frottement à vaincre sous la charge expérimentée.

Les expériences ont montré que l'effort supplémentaire pour rompre l'équilibre était le même d'un côté et de l'autre pour une même charge et que cet effort était proportionnel à la charge.

Sous une charge totale de 100 kg il faut 7 kg pour vaincre les frottements de la poulie.

Le rapport des vitesses de la main motrice et de la charge élevée étant $\frac{23}{1}$ pour élever une charge de 100 kg à 1 m, il faut en prenant le résultat

obtenu dans cette expérience, dépenser $7 \times 23 = 161$ kgm pour le travail passif Tf de la poulie différentielle seule.

D'après le tableau, la dépense pour le travail passif des deux poulies est de 234 kgm, il s'ensuivrait que le travail passif de la poulie inférieure serait d'environ 73 kgm.

Le rendement des palans différentiels diminue quand leur force augmente, ainsi, le palan pour lever 500 kg au maximum, a donné un rendement de 0,30 et le rendement d'un autre palan du même modèle mais de la force de 1.800 kg, a donné un rendement de 0,20.

Le palan à vis sans fin (fig. 93), dont le rendement est encore plus faible que celui du palan différentiel, a des frottements sur les axes des poulies comme ce dernier et il a en outre des frottements plus importants de la vis sans fin sur l'engrenage et sur sa butée.

Pour évaluer l'importance de chacune de ces deux sources de frottement, j'ai retiré la vis sans fin et j'ai mesuré l'effort de traction sur le garant ou brin libre de la chaîne pour lever au crochet de la poulie mobile des charges croissantes. Le graphique de cette série d'essais indique que pour lever une charge de 100 kg à 1 m, il faut un effort de 58 kg et une course de la la main de 2 m.

Le travail moteur dépensé est de 116 kgm pour produire un travail utile de 100 kgm.

Nous voyons, d'après les renseignements donné par le tableau, que pour lever ces 100 kg à 1 m avec ce palan à vis sans fin, il faut dépenser 428 kgm; comme il y a 116 kgm pour le travail moteur sans la vis sans fin, ainsi que nous venons de le voir, il en résulte que la *vis sans fin absorbe la différence, soit 312 kgm,* pour produire un travail utile de 100 kgm.

Le rendement de la vis sans fin sur son engrenage en bronze est donc, dans le cas qui nous occupe, de $\frac{116}{428} = 0,27$.

Au point de vue économique il y a intérêt à choisir un autre organe que la vis sans fin, des engrenages par exemple, pour multiplier la course avec moins de frottement; le rendement étant alors plus élevé que 0,50, l'appareil est muni d'un organe de retenue pour maintenir la charge suspendue et permettre la descente de la charge à la vitesse voulue.

Par l'emploi d'engrenages on triple facilement le rendement d'un palan, ainsi qu'on le voit sur le tableau des essais comparatifs de 4 palans différents (p. 459).

La rupture en service d'un appareil de levage pouvant amener de graves accidents, il est du plus haut intérêt pour la sécurité de se préoccuper de la bonne qualité de l'engin; aussi, fabricants et consommateurs attachent-ils

une grande importance non seulement au rendement des palans, mais aussi et surtout à leur résistance et par conséquent à la qualité des matières employées dans leur construction.

Dans ce but, les chaînes sont généralement essayées au double de la charge maximum qu'elles doivent supporter en pratique et les palans terminés sont essayés sous une charge plus élevée de moitié de la charge pour laquelle ils sont vendus.

Je crois devoir appeler l'attention des constructeurs sur ces essais *statiques* dont la valeur n'est pas aussi absolue qu'ils paraissent le penser, car ces essais ne renseignent pas sur la résistance vive des soudures ni sur la fragilité du métal.

Ainsi j'ai vu, dans une gare de chemin de fer, une chaîne de grue se rompre brusquement en enlevant une charge de 6 tonnes, alors qu'elle avait résisté, quelques jours avant, à l'essai réglementaire effectué au banc à tirer, sous une traction de 15 tonnes.

CHARLES FRÉMONT.

ENQUÊTE SUR L'ORGANISATION D'UN ENSEIGNEMENT ADAPTÉ AUX BESOINS DE L'INDUSTRIE CÉRAMIQUE ET AVIS DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT

La Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale a reçu de M. le Sous-Secrétaire d'État de l'Enseignement technique la lettre suivante :

Paris, le 21 octobre 1920.

MONSIEUR LE PRÉSIDENT,

L'enseignement technique a eu jusqu'alors presque exclusivement en vue les travaux du fer et du bois ; il laissait ainsi de côté un certain nombre d'industries spéciales dont l'importance ne peut être négligée pour le développement économique du pays. L'industrie céramique m'a paru devoir retenir plus particulièrement mon attention et nécessiter l'organisation d'un enseignement spécialement approprié à ses besoins. J'ai pensé que le seul moyen d'arriver à établir les bases de cet enseignement serait de faire appel à tous ceux qui sont plus qualifiés pour en connaître les besoins et apporter à l'élaboration d'un plan d'ensemble le concours de leur compétence et de leur expérience.

Ce plan pourrait comprendre à la fois un apprentissage qui, à l'heure actuelle, ne se fait que par à-coups, la préparation de contremaîtres et même l'enseignement nécessaire aux ingénieurs ainsi que la formation de chimistes spéciaux.

Je vous serais très obligé de vouloir bien me faire savoir si je puis compter sur votre collaboration effective pour l'établissement de ce projet.

La Société d'Encouragement ne pouvait rester indifférente au désir exprimé dans cette lettre. Il fut répondu immédiatement à M. le Sous-Secrétaire d'État de l'Enseignement technique qu'il pouvait compter sur sa collaboration pour l'établissement du programme d'enseignement projeté.

Le 3 janvier 1921, la Société d'Encouragement recevait du Directeur de l'Enseignement technique et du Directeur des Beaux-Arts la lettre ci-dessous, qui fut adressée à toutes les personnes qui avaient répondu affirmativement à la première lettre.

Paris, le 3 janvier 1921.

MONSIEUR,

Vous avez bien voulu nous promettre votre collaboration effective en vue d'organiser un enseignement adapté aux besoins de l'industrie céramique. Avant de réunir les industriels et les personnalités compétentes auxquelles nous avons

fait appel, nous estimons qu'il est utile, pour aboutir rapidement à des conclusions pratiques et précises, de poser d'avance les données du problème à résoudre et nous nous permettons, dans ce but, de vous soumettre ci-dessous les questions qui nous paraissent devoir servir de base à la discussion.

Le problème général consistant à assurer le recrutement et la formation professionnelle du personnel indispensable aux diverses industries céramiques, il y a lieu d'étudier, d'une part, la formation des ouvriers, et, d'autre part, la formation du personnel dirigeant constitué par les contremaîtres, ingénieurs, créateurs de modèles, patrons.

1° *Formation du personnel ouvrier.*

Comme pour toutes les autres industries, il y a lieu d'envisager, par l'éducation simultanée de la main-d'œuvre et de l'esprit, la formation d'un ouvrier qui sera tout ensemble :

a) *Un ouvrier habile* connaissant à fond la technique de sa profession, capable de tirer le meilleur parti de l'outillage qui lui est confié, apte à utiliser intelligemment la matière première et à en raisonner l'emploi dans toutes ses transformations de forme et de décor : en un mot, sachant diriger et dominer son travail;

b) *Un ouvrier honnête et laborieux*, conscient de ses devoirs comme de ses droits de citoyen, et comprenant comment il peut, par son travail, contribuer à la prospérité et au rayonnement de son pays à travers le monde.

1re Question : Quel pourra être, à cet égard, le rôle de l'école primaire? Y a-t-il lieu d'y organiser un « préapprentissage » ayant pour but, non de muer un enfant trop jeune en apprenti, mais de lui inspirer le goût et le respect du travail manuel et d'éveiller en lui des aptitudes?

2e Question : A quel âge devra prendre fin cette initiation et commencer l'apprentissage proprement dit?

3e Question : Où se fera l'apprentissage? à l'atelier, à l'école ou à l'atelier-école? Dans cette dernière hypothèse, comment seront créés et organisés et comment fonctionneront les ateliers d'écoles? N'y a-t-il pas lieu de prévoir, à cet égard, la participation des chambres syndicales, des syndicats ou associations professionnelles, des sociétés coopératives?

4e Question : Dans le cas le plus fréquent, sans aucun doute, où la formation manuelle sera faite à l'atelier et complétée simplement par la fréquentation obligatoire de quatorze à dix-huit ans de cours adaptés à la profession (Loi du 25 juillet 1919), comment et par qui ces cours seront-ils organisés et entretenus; comment la liaison sera-t-elle assurée entre ces cours et l'atelier?

Comment les professeurs seront-ils recrutés et rémunérés?

Quels seront les cours indispensables et ceux simplement utiles?

Comment les programmes seront-ils élaborés?

A quelles heures de la journée auront lieu les cours?

Le temps nécessaire à cet enseignement sera-t-il pris totalement ou partiellement sur la durée de la journée de travail?

Les apprentis recevront-ils, pendant ce temps, leur salaire normal ou une émunération quelconque?

Y a-t-il lieu d'envisager, en dehors des cours locaux, la créat on de quelques

centres d'éducation et d'instruction professionnelles, fortement organisés et largement dotés de laboratoires, d'ateliers, etc., et, conjointement, de prévoir l'institution de bourses destinées à permettre l'accès de ces centres aux apprentis les mieux doués. N'y aurait-il pas là un moyen puissant et bienfaisant au point de vue social de montrer aux jeunes gens qu'il n'y a pas dans l'usine ou l'atelier qui les emploie de situation à laquelle ils ne puissent prétendre à force de travail bien dirigé, de curiosité intellectuelle, de bonne volonté et de bonne conduite. En posant ces questions, nous insistons sur ce point que tous les enseignements, même celui que nous appellerons l'enseignement civique ou social, doivent être étroitement liés à la profession.

Il faut attacher l'apprenti à son devoir civique en lui faisant comprendre que sa profession est solidaire de l'ensemble social, que l'accomplissement de sa tâche est une condition du bon fonctionnement de cet ensemble et par conséquent de la prospérité générale. Il faut également lui donner l'orgueil de son métier, lui en retracer l'histoire, lui indiquer les progrès réalisés par la collaboration de la science et de l'industrie, les améliorations introduites dans les mœurs et la vie sociale grâce à ses progrès mêmes.

2° *Formation du personnel dirigeant.*

L'industrie céramique ayant besoin de contremaîtres expérimentés, d'une part, d'ingénieurs, de chimistes spécialisés, de directeurs et d'agents commerciaux, d'autre part, où et comment recrutera-t-elle ce personnel ?

On peut concevoir :

1° Que quelques-uns de ces agents de maîtrise pourront être choisis, à l'atelier même, parmi les ouvriers ayant poursuivi des études scientifiques et techniques ;

2° Que les autres, étrangers à l'usine, proviendront, selon les cas, des instituts rattachés aux universités, des grandes écoles techniques, des écoles supérieures de commerce, l'enseignement scolaire devant être complété nécessairement par un stage dans les ateliers.

Mais, pour les uns et les autres, il y a lieu de prévoir des cours spéciaux et une éducation professionnelle appropriés à leur emploi, soit dans les bureaux d'études, soit dans les laboratoires, soit dans les services commerciaux, soit enfin dans la direction des usines. Ces cours devront avoir pour objet l'étude des méthodes et procédés de travail modernes, l'organisation des ateliers, le contrôle de la production, etc. Au premier plan, la connaissance de la psychologie ouvrière indispensable à tous ceux que leur fonction appelle à commander, il faut que les chefs apprennent à comprendre les ouvriers.

En outre, il sera nécessaire de préciser la nature et l'étendue des études à entreprendre, de rédiger les programmes d'enseignement, de déterminer le nombre des centres à créer et de définir l'orientation propre et le but de chacun d'eux.

Le plan que nous vous proposons, Monsieur, ne peut être évidemment qu'une indication générale propre à guider votre documentation. C'est de vous, de vos groupements syndicaux que doivent venir les précisions relatives à vos besoins en main-d'œuvre, aux fabrications pour lesquelles des améliorations semblent les plus urgentes; c'est de vous que nous attendons les directives pratiques qui nous per-

mettront de réaliser l'œuvre que nous avons entreprise. Nous vous remercions d'avance du concours dévoué que vous avez bien voulu nous promettre.

Agréez, Monsieur, l'assurance de notre parfaite considération.

Le Directeur de l'Enseignement technique,	*Le Président du Conseil d'Administration de l'Institut de Céramique,*	*Le Directeur des Beaux-Arts,*
Signé : E. LABBÉ.	J. LOEBNITZ.	Paul LÉON.

L'examen des questions ainsi posées à la Société d'Encouragement et l'étude de la réponse qu'il convenait d'y faire ont été confiés à son Comité des Arts chimiques, auquel ressortissent les travaux relatifs à la céramique. Après avoir échangé des vues sur la question, les membres de ce comité ont prié M. Loebnitz, de préparer la réponse demandée. Un premier projet de réponse fut présenté par lui dans la séance du Comité des Arts chimiques du 15 février 1921. Il résulte des vues échangées au cours de cette séance que le questionnaire précité, qui ne vise que le « recrutement et la formation professionnelle du personnel indispensable aux diverses industries céramiques », semble cependant avoir été étudié pour se rapporter à d'autres industries. Du reste, il est très détaillé.

Dans ces conditions, le Comité des Arts chimiques a pensé qu'il convenait d'envisager la question en ne se limitant pas à la seule industrie céramique, de manière à embrasser, si possible, l'enseignement technique dans son ensemble. C'est dans cet esprit qu'a été rédigé un nouveau projet de réponse. Ce projet a été présenté dans la séance du Comité des Arts chimiques du 8 mars. Ce Comité, après y avoir apporté quelque modification, l'a adopté sous la forme définitive qui suit.

Avis de la Société d'Encouragement (1).

Pour répondre au questionnaire et définir avec la précision désirable ce qu'il y a lieu de faire pour une industrie, il faut tenir compte des différents aspects ou besoins qu'elle présente.

L'industrie céramique est peut-être de celles où se rencontrent les plus nombreuses variétés dans les manifestations comme dans les nécessités de personnel.

On y est amené à envisager les différences dans l'importance des établissements comme aussi celles de la technique pour les diverses fabrications, de même que le côté artistique ou seulement utilitaire de la production.

(1) Cet avis a été adressé, le 28 mai 1921 et ainsi qu'il avait été demandé, à M. le Directeur de l'Enseignement technique.

Les seuls documents officiels, sur le nombre des établissements, le personnel employé et sa répartition dans les établissements, sont fournis par les recensements de 1906 et 1911.

En 1906, pour les briqueteries, tuileries, carreaux, poêles, poteries, grès, produits réfractaires, soit toutes les productions céramiques autres que la faïence et la porcelaine, la population active était : 55.889 personnes, réparties en 6.194 établissements, et, pour la faïence et la porcelaine, de 28.262 personnes réparties en 439 établissements.

Pour les établissements autres que la faïence et la porcelaine 87 p. 100 d'entre eux sont portés comme occupant seulement 1 à 10 ouvriers ou employés, soit ensemble 15.544 personnes; 407 établissements, ou 6,5 p. 100, occupent plus de 20 personnes soit 26.149 ou 55,7 p. 100 de la population active; pour la faïence et la porcelaine, 145 établissements ou 33 p. 100 occupent plus de 20 personnes; 61 établissements ou 13,89 p. 100 occupent plus de 100 personnes, soit pour ces derniers 21.653 ou 79,5 p. 100 de la population totale.

Le recensement de 1911 ne fournit pas les mêmes détails que celui de 1906; il donne seulement des chiffres globaux.

Poteries, briqueteries. . .	Population active :	46 798;	Patrons :	8 466
Faïence, porcelaine. . . .	—	16 840;	—	754

Ces statistiques peuvent avoir des points faibles demandant donc certaines atténuations ou interprétations mais il n'en est pas moins établi que, pour le plus grand nombre, les lieux de production n'occupent qu'un personnel restreint lorsque, par contre, quelques-uns appartiennent à la grande industrie, dépassant même le chiffre de 1.000 ouvriers.

Des établissements aussi divers d'importance ont des besoins de personnel qui ne peuvent être envisagés de même. Il peut s'y présenter des cas très particuliers dont il y aurait lieu de tenir compte.

Une certaine impressionnabilité se manifeste souvent dans l'intérêt porté à une industrie lorsque ses manifestations peuvent être appelées à satisfaire des désirs ou à nous charmer. Un caractère artistique se rencontre dans certaines productions céramiques en elles-mêmes, ou par le rôle qu'elles sont appelées à jouer dans l'ensemble auquel elles sont destinées. Ces productions prennent alors aux yeux du public une importance qui n'est pas en rapport avec l'ensemble de l'industrie, soit en raison du mouvement d'affaires qui en découle, soit au point de vue du personnel qui y est employé.

La formation des ouvriers d'art est nécessaire, mais elle ne doit pas faire penser, après qu'on s'est occupé d'eux, que les besoins de l'industrie sont

satisfaits. Ce qui concerne le personnel en général doit tenir une place plus importante dans les préoccupations comme elle en occupe une plus grande dans la production et les nécessités de la vie. La formation des premiers a été plus souvent envisagée que celle du plus grand nombre et la voie que l'on a pensé suivre pour eux peut ne pas convenir aux autres.

La technique présente de grandes différences suivant le produit à obtenir et les matières employées.

La première phase est le façonnage de l'argile. Pour certaines pièces, il est fait usage du tour sur lequel la terre est montée à la main ou prend la forme d'un moule contre lequel l'appuie un calibre; c'est aussi l'utilisation de moules divers dont la terre prend l'empreinte par pression manuelle; d'autres fois, la pression sera mécanique. La forme également pourra être donnée par des filières.

La pâte sera employée non seulement molle ou ferme mais, dans d'autres cas, à l'état de bouillie liquide ou encore séchée et pulvérulente.

Une formation supérieure doit comprendre une connaissance suffisante de toutes ces façons de procéder, mais on ne saurait vouloir les faire parcourir toutes à l'apprenti.

Des procédés techniques très différents également sont pratiqués pour l'émaillage et le décor, même pour des articles courants. Les cuissons présentent aussi des façons, fours et procédés divers, etc.

Il paraît, en raison de tant de complications et de cas divers dont il y aurait à tenir compte, que la Société d'Encouragement ne peut répondre en entrant dans les détails de l'industrie; cela restera le rôle des professionnels.

Elle doit pourtant donner l'avis qui lui est demandé mais en envisageant l'ensemble des productions industrielles.

*
* *

L'avis demandé à la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale par le Sous-Secrétariat de l'Enseignement technique et la Direction des Beaux-Arts sur « le problème général consistant à assurer le recrutement et la formation du personnel indispensable à diverses industries » doit envisager les diverses phases de cette formation.

A. La première question à résoudre est le recrutement des apprentis et, s'il était possible, leur maintien dans la profession qui les aura formés.

B. Vient ensuite l'apprentissage proprement dit, soit l'enseignement primaire de la profession.

C. Puis le développement des capacités professionnelles ou techniques doit être mis à la portée non seulement des apprentis précédents, mais aussi

des ouvriers qui pratiquent la profession déjà depuis un certain temps et désirent augmenter leurs aptitudes; ce peut être l'acheminement aux postes de contremaîtres ou chefs d'ateliers. C'est un enseignement secondaire si l'on veut; nombreux sont également les chefs de petites installations qui pourraient trouver intérêt à suivre cette formation.

D. Enfin des cours supérieurs faisant suite aux précédents ou constituant un enseignement pratique spécial grâce auquel des diplômés d'écoles de formation générale viendront s'initier à la technique, à la pratique et aux besoins spéciaux de l'industrie envisagée, pour être ainsi mieux à même de diriger un établissement.

Cet avis étant demandé sous forme de questions, il paraît indiqué de répondre successivement à chacune autant que cela peut nous être possible.

Le recrutement des apprentis est le point le plus important, tous les autres n'ayant plus lieu d'être si le sujet lui-même fait défaut.

Diriger l'enfant vers le travail manuel, lui en donner le goût dépend de ceux qui ont eu la charge de le suivre : la famille et l'école.

Pour que l'enfant ne soit pas détourné de l'idée d'apprendre un métier, il faut qu'il ne considère pas le maniement de l'outil comme inférieur et qu'il soit mis à même de comprendre la sécurité et par suite l'indépendance que constitue la connaissance d'un métier proprement dit; aussi la formation scolaire doit comprendre la mise en présence du travail manuel.

Le maniement préparatoire de divers outils et matières aura, comme le dit la *première question* « pour but, non de muer un enfant trop jeune en apprenti, mais de lui inspirer le goût et le respect du travail manuel et d'éveiller en lui des aptitudes ». Les travaux que l'on fera faire à l'enfant ne doivent pas être un commencement de l'apprentissage auquel, par la suite, il se livrera. On doit, pendant ce temps, éviter avec grand soin tout ce qui peut constituer un commencement de spécialisation.

Faire faire à l'enfant un travail déjà apparemment spécialisé, c'est le pousser vers cette profession ainsi que ses camarades. Quel sera alors le recrutement des autres métiers et les enfants seront-ils plus heureux dans l'avenir de se diriger en trop grand nombre vers un nombre restreint de professions?

Ce qui semble immédiatement préférable n'est pas ce qui se maintiendra tel dans un temps quelquefois peu éloigné.

Pendant la guerre, les jeunes gens qui se présentaient au comité de patronage des apprentis d'arrondissements très importants demandaient presque exclusivement la mécanique ou l'électricité. Dans d'autres industries, où les professionnels se trouvaient diminués, soit du fait de la guerre, soit en raison des étrangers qui avaient dû retourner dans leur pays, les places qu'on

offrait aux jeunes gens étaient refusées sauf de très rares exceptions. Les forts salaires sans apprentissage étaient pour eux un appât immédiat auquel ils cédaient. Ils n'ont pas appris de métier mais, gagnant comme un professionnel en raison de la machine qu'ils servaient, ils se sont illusionnés sur leur propre valeur. Le travail, dans ces professions, a diminué, comme on devait s'y attendre; ils se sont trouvés ramenés à la réalité. La déception est grande; l'illusion déçue les fait se considérer incompris et ainsi ils sont malheureux. Les places qu'ils ont refusées présentent actuellement une autre sécurité.

Quelle que soit la profession exercée plus tard, ce que l'on a appris d'un autre métier n'est jamais inutile et peut, au contraire, donner des vues plus larges que de se restreindre juste à un seul point d'une profession.

Ce contact avec des éléments divers ouvrira l'esprit de l'enfant; des aptitudes particulières se dessineront parfois, mais, le plus souvent, il aura simplement eu le temps de penser et aussi de savoir qu'il n'y a pas seulement un nombre très restreint de métiers vers lesquels il peut se diriger; son choix pourra être plus libre, plus éclairé.

Pendant ce travail préparatoire, il devra être renseigné sur l'avenir des diverses professions. L'instituteur doit être un véritable éducateur, s'attachant à faire comprendre ces choses à l'enfant et à le mettre en garde contre tous les mirages qui peuvent lui faire considérer l'apprentissage d'un métier comme peu utile : tels les salaires presque aussi élevés dans certains cas pour les manœuvres que pour les professionnels. Un apprentissage plus poussé est une assurance plus grande pour l'avenir.

Les travaux de cette période pourraient être guidés vers des points de pratique journalière dans le ménage, dans l'habitation. Devenir apte à exécuter ou au moins à contribuer aux divers petits travaux dont la nécessité se rencontre dans la vie journalière est utile à tout sujet, et il est évident que se sentir capable d'agir par soi-même donne la meilleure pensée que la connaissance ou la possession d'une dextérité manuelle est très appréciable dans la vie.

Ce début de travail manuel à la fin de la scolarité aurait l'autre avantage, répondant ainsi à l'idée exprimée par la note qui motive la réponse de la Société d'Encouragement, de poursuivre, pendant ce temps au moins, la formation simultanée de la main-d'œuvre et de l'esprit et de ne pas interrompre brusquement celle-ci en entreprenant la première.

2e question. Cette initiation préparatoire à l'apprentissage ne devrait augmenter que d'un an la scolarité. A quatorze ans l'enfant commencerait l'apprentissage proprement dit.

Un des projets de convention adoptés par la conférence de Washington retarderait à quatorze ans l'âge auquel les enfants pourraient être admis aux travaux industriels.

Si cette disposition se trouvait adoptée telle quelle, comme elle n'envisage que les enfants se dirigeant vers l'industrie, ceux-ci seraient de moins en moins nombreux. La faculté d'entrer un an plus tôt dans le commerce, les bureaux, administrations, etc., continuerait de les y attirer. Il faut absolument l'éviter.

La valeur d'une année consacrée par tous les jeunes Français à un dégrossissage pratique ne peut être qu'utile à tous.

Pour la réalisation, les graves questions, éducateurs et locaux, sont à envisager comme aussi le nombre de bras dont la participation à la production serait retardée; sur ce dernier point, on peut penser que l'enfant ainsi débrouillé sera plus apte à faire un apprentissage utile et qu'ainsi celui-ci pourra être écourté sans diminuer le résultat; le temps passé pour cette préparation ne sera pas en réalité perdu même pour la profession.

La durée de l'apprentissage, du reste, ne doit plus être définie par un nombre d'années ou de mois; il doit prendre fin lorsque le sujet aura témoigné d'une connaissance suffisante de son métier.

3e question. Où se fera l'apprentissage?

Le véritable lieu de formation de l'apprenti est l'atelier. Dans un grand nombre de professions, il ne peut guère être envisagé différemment. C'est le cas, entre autres, pour toutes celles où la matière doit être employée par quantité ou bien où les soins à donner au travail nécessitent des emplacements assez grands.

Il importe aussi que l'apprenti, mis en présence de la matière, ait, dès le principe, le sentiment qu'il faut produire. Ceci ne peut avoir lieu qu'à l'atelier ou à l'atelier-école, celui-ci devenant alors, dans toute la mesure possible, un lieu de production.

Contre l'apprentissage à l'atelier patronal s'élève cette objection : s'il est trop spécialisé, il ne donnera pas à l'apprenti une formation complète. Les devoirs envers l'apprenti comme l'intérêt de la corporation, commandent, lorsque la profession comporte divers travaux, de faire passer l'enfant dans des ateliers divers, de façon à ne pas le limiter à un travail trop spécialisé.

Si le patron est trop spécialisé, il serait bon que l'apprenti passe dans une autre maison de même genre. Ainsi a pris naissance la pensée du contrat d'apprentissage passé par l'apprenti non pas seulement avec un patron isolé mais avec la corporation. Celle-ci prend alors charge de la surveillance du travail de l'apprenti comme aussi de certains frais s'il est besoin; elle a la

faculté de le faire changer de maison s'il y a lieu, pour que le futur ouvrier réponde à ce que la corporation doit attendre de lui.

Ce contrat d'apprentissage corporatif et collectif peut présenter des difficultés de réalisation. L'idée émise à ce sujet mérite pourtant d'être retenue, sa mise en pratique étant probablement possible dans certaines professions qui pourraient l'envisager.

L'atelier-école serait, pour certains cas, l'idéal car il pourrait grouper tout ce qui doit comprendre la formation du personnel. Mais les difficultés pécuniaires seront un obstacle qui, le plus souvent, le feront écarter; l'éloignement des centres de production peut nécessiter d'y envisager le logement de ceux qui suivront les cours; la quantité de matière à employer et le matériel et outils nécessaires peuvent motiver de grands emplacements et des capitaux importants.

La vente des produits obtenus ne serait souvent qu'une atténuation trop faible de l'ensemble des charges, intérêt du capital immeuble, matériel, habitation pour les élèves et les frais annuels de personnel et de matières.

Pour les professions où l'atelier-école peut se réduire à quelques salles et où la consommation des matières premières n'est pas grande ou bien lorsque celles-ci peuvent être en quelque sorte récupérées, cette école est certainement le lieu préférable de formation.

L'apprenti n'y est pas avec un patron ayant une production unique; il ne risque pas d'être spécialisé; il peut être appelé au contraire à passer par l'ensemble du travail; sa capacité professionnelle peut être plus exactement reconnue et ainsi, dès qu'elle est suffisante, son apprentissage prendra fin.

Les apprentis s'y trouvent tout groupés pour les cours qui doivent compléter le travail manuel en vue de leur donner une formation complète.

Dans le cas où la formation manuelle sera faite à l'atelier, elle devra être complétée par la fréquentation obligatoire, de quatorze à dix-huit ans, de cours adaptés à la profession (loi du 25 juillet 1919).

Aussi la 4e question posée est-elle : Comment et par qui ces cours seront-ils organisés et entretenus?

Les diverses industries ne présentent pas, pour l'établissement de ces cours, les mêmes possibilités. Le groupement ou l'éloignement des ateliers de même profession favorise ou rend impossible la réunion des apprentis. Leur travail, s'il est intimement lié à celui de l'ouvrier, même parfois à tel point que celui-ci ne peut pratiquement se passer de son apprenti, ne permet pas que ces cours aient lieu pendant la durée du travail telle qu'elle est réduite par la loi d'avril 1919.

Lorsque l'usine aura un nombre suffisant d'apprentis pour motiver l'établissement de ces cours chez elle, on peut considérer facilement réalisable de

répondre aux stipulations de la loi. Il peut en être de même lorsque les ateliers de la même profession sont suffisamment groupés pour que les apprentis puissent, sans dérangement trop grand, venir assister aux cours. Ils seront alors utilement organisés ou dirigés par le syndicat professionnel, et celui-ci surveillera la formation des apprentis de la corporation.

Si la profession peut avoir un ou plusieurs ateliers-écoles, l'apprenti pourra y faire un ou plusieurs stages de quelques semaines pendant lesquels il recevra, groupés alors, les enseignements dont d'autres ont pu profiter chaque semaine dans l'atelier ou des cours à proximité de chez eux.

Dans les autres cas que peut-il être fait?

La solution est difficile et délicate. On ne saurait songer, pour les industries ne pouvant pas réunir un nombre suffisant d'apprentis pour motiver un cours spécial, à faire suivre à ces apprentis les cours d'une autre profession.

C'est même une solution qu'il faut absolument écarter. On peut penser que cet apprenti isolé trouverait, dans ces cours, certaines idées générales qui développeront son intelligence, l'éveillant et la portant vers d'autres objets, ce qui peut lui être profitable, mais il y a à redouter, pour les apprentis d'une profession n'ayant pas ses cours propres, que l'enfant, suivant les cours d'une autre profession, se trouve attiré vers celle-ci. La profession, déjà peu favorisée, ayant un recrutement plus difficile parce que ses établissements dans la région sont moins nombreux ou moins importants, verrait encore, du fait de l'obligation des cours complémentaires, diminuer son personnel. On ne saurait donc engager ces industriels à faire suivre à leurs apprentis des cours dans de pareilles conditions.

La solution permettant quand même de compléter la formation de ces jeunes ouvriers n'apparaît pas aisément.

Les cours prévus par la loi du 25 juillet 1919 l'ont été dans le but de favoriser, dans toute corporation, la formation professionnelle des jeunes ouvriers. La solution semblait très séduisante et la pratique montre qu'elle n'est pas sans présenter des inconvénients possibles et allant à l'encontre du but poursuivi.

Ces cours pourraient et devraient être le point de départ d'autres plus développés et non moins nécessaires. Ce sont les cours et exercices pratiques où des apprentis devenus ouvriers, des ouvriers ayant même déjà un certain nombre d'années d'exercice, de futurs chefs d'installations modestes, viendront acquérir les connaissances dont ils peuvent déjà sentir ce qui leur manque. Grâce à ce complément de formation, du côté de questions générales, de données plus scientifiques et techniques avec un esprit plus porté à l'organisation et à l'étude de la mentalité, ils pourront devenir aptes à remplir des postes de contremaîtres ou chefs d'ateliers.

Les chefs d'équipes ou contremaîtres dignes de ce titre font défaut dans beaucoup d'industries. Plus le machinisme se développe, plus leur rôle est important, plus il devient nécessaire qu'ils aient une formation complète et les mettant à même de saisir les évolutions du travail.

Ce n'est que rarement qu'ils pourront trouver ces cours à proximité de leur travail pour pouvoir les suivre à la fin de la journée. Il leur faudra donc envisager un stage.

L'atelier-école complet, s'il existe, serait pour eux un lieu de stage indiqué, mais, comme la technique prendrait une part plus grande dans cet enseignement que la pratique à laquelle ils sont habitués, le stage pourrait être fait utilement aussi dans un milieu n'ayant pas des éléments de production en grand, comme cela doit être prévu pour l'atelier-école destiné à la formation de l'apprenti. Une section jointe à une autre école pourrait convenir si elle est suffisamment outillée pour la démonstration.

Les apprentis les mieux doués ou les praticiens désireux de sortir de la moyenne qui suivent ces cours auront intérêt à être habitués, dans les industries qui en comportent, aux essais simples du laboratoire, les plus courants pour la profession.

Ainsi, pour beaucoup de cas, se poursuivra un acheminement vers la formation supérieure.

Les cours supérieurs spéciaux, qu'ils s'adressent : 1° soit à des ouvriers ayant poursuivi des études scientifiques et techniques que permettraient les cours précédents; 2° soit à des étrangers à l'usine, provenant suivant le cas, des universités, des grandes écoles techniques ou écoles supérieures, seront encore moins nombreux en raison du nombre restreint de sujets; de façon générale, ils ne se trouveront donnés que dans une seule école. Et pourtant, cette formation pourra ne pas devoir être la même pour tous.

On doit penser que le personnel dirigeant doit être doué d'un esprit d'initiation et d'une culture générale suffisants pour s'assimiler toutes les questions qui se trouvent dans l'ensemble de l'entreprise; au point de vue professionnel proprement dit : matières, matériel, travail; au point de vue social et rapports avec le personnel; questions de banque et de comptabilité; d'organisation, d'approvisionnement, etc.

D'anciens ouvriers sont devenus de remarquables chefs d'industrie. Bien que moins fréquent que celui provenant d'élèves ayant fait des études de culture générale, leur recrutement ne doit pas être négligé. Les cours qu'ils auront à suivre devront être poursuivis dans le sens nécessaire.

L'initiation au travail manuel suivie par l'enfant à la fin de la scolarité, doit l'être à l'écart de toute idée de spécialisation de travail. Une fois apprenti il est dirigé avant tout vers le métier qu'il adopte. Les cours qu'il suit en

dehors ont pour but d'ouvrir son esprit à des observations de plus en plus élargies tout en se rapportant à la profession. L'atelier ramène chaque jour le sujet à la pratique du métier et celle-ci sera mieux comprise lorsque l'esprit sera initié aux points avoisinants. La dernière étape de la formation devra comprendre les notions scientifiques, sociales et autres, qu'il y a lieu de compléter.

Le cas est tout différent pour l'adaptation à la direction d'une industrie des sujets provenant des universités, grandes écoles techniques ou autres. Ils auront comme les praticiens à suivre ce qui concerne la technique professionnelle, les nombreuses questions sociales et ouvrières ou de mentalité de la profession, mais aussi au point de vue pratique un ou des passages en usine, autrement que comme directeur, leur seront utiles.

La désignation et le recrutement du personnel chargé de ces divers cours seront toujours chose délicate. Tout ce qui est de technique professionnelle, et encore bien plus de pratique de métier, ne doit pas être enseigné par des théoriciens.

Il importe donc que dans le choix de ce personnel les praticiens conservent voix prépondérante.

Les professeurs de l'enseignement technique chargés des autres cours pourront toujours utilement rester en contact avec l'industrie, à laquelle s'adressent les cours qu'ils professent : il peut y avoir des situations ou usages particuliers dont il est bon qu'ils tiennent compte.

On ne peut espérer tracer un programme absolu pour une industrie et encore bien moins pour l'ensemble de la production.

Les conditions, les nécessités varient d'une industrie à l'autre. Dans une même industrie, elles ne sont pas les mêmes pour ses diverses branches, et, suivant l'importance des ateliers, dans un même lieu de fabrication, les situations changent, etc.

Une semblable note ne peut donc tout envisager; elle ne peut comprendre que des données générales sur quelques points.

De ces remarques, il semble ressortir que, pour réaliser la formation aux divers échelons industriels et permettre à ceux qui le désirent de se rendre aptes à avancer dans la hiérarchie, l'idéal serait l'atelier-école pouvant produire. Il devient l'œuvre de la corporation. Le contrat d'apprentissage y est passé avec la corporation qui surveille le travail de l'apprenti pour qu'il devienne véritable ouvrier dans la partie de l'industrie qu'il poursuit. Les apprentis y vivent dans la famille corporative. Tout praticien peut y venir augmenter les connaissances qu'il possède et cela jusqu'aux études les plus complètes.

Si les taxes d'apprentissage dont on parle se trouvaient à la disposition

de la corporation, elles permettraient de faire vivre cet atelier, mais avec quelles ressources l'établir car le capital à engager peut être important.

La réalisation n'est donc à espérer que rarement.

Pourtant, si une organisation répondant aux diverses étapes de la formation est bonne, mais ne peut être réalisée dans son ensemble, sa conception générale peut inspirer les œuvres qui seront étudiées pour correspondre aux diverses phases du développement professionnel.

De toutes les remarques que l'on peut faire sur les difficultés de réalisation de l'enseignement professionnel pratique, il ressort certainement que la corporation, le syndicat doit avoir une action de plus en plus marquée : prendre en mains l'éducation professionnelle du personnel qui lui est nécessaire, le guider, le suivre dans sa formation pour la rendre plus complète, le connaissant mieux, le diriger vers la place qui convient pour lui, comme pour la production. On peut aussi espérer, dans cette plus grande connaissance et meilleure utilisation des aptitudes, une atténuation des pertes de temps en recherches de places comme de personnel.

TRAVAUX DE LA COMMISSION D'UTILISATION DES COMBUSTIBLES (1)

Ministère des Travaux publics.

Troisième rapport (2).

L'emploi du charbon à l'état de fine poussière, mis en suspension dans un jet d'air et brûlant comme un gaz, est loin d'être une nouveauté. Mais, jusqu'à ces derniers temps, il n'était l'objet, en Europe du moins, que d'applications très restreintes. On lui reprochait le coût de la préparation du combustible, les risques d'explosion des mélanges poussiéreux de charbon et d'air, les difficultés d'élimination des dépôts formés par les cendres plus ou moins fusibles. Ce n'est guère que pour les fours rotatifs à ciment que ce mode de chauffage était entré dans la pratique.

Mais, depuis peu, le système a pris une importance croissante en Amérique et a acquis chez nous une réputation toute nouvelle quant à la variété de ses applications. On le préconise pour des genres variés de fours et même pour les générateurs de vapeur; il apparaît comme l'un des moyens de tirer parti de certains charbons cendreux et maigres, inutilisables dans les foyers ordinaires.

Durant la crise charbonnière que nous venons de traverser, la cherté des combustibles et les difficultés de leur approvisionnement ont conduit plusieurs grands industriels à organiser d'après ce système le service de leurs foyers. L'intérêt de la question n'est pas destiné à disparaître avec les circonstances qui ont suscité ces efforts. L'infériorité que présente dans son ensemble l'extraction des houillères françaises par rapport aux besoins du pays, les difficultés spéciales d'utilisation et de transport de quelques-uns de nos charbons, tels que certains anthracites des Alpes, sont des faits destinés à durer; on ne saurait donc apporter trop de soin à l'examen des procédés qui tendent à utiliser les charbons de qualité quelconque et à assurer à leur combustion un maximum de rendement. En outre, le système du charbon pulvérisé partage, avec les grilles mécaniques et les autres dispositifs de foyers automatiques, l'avantage (dont l'importance ne cesse de croître) de transformer le travail de chauffe en une simple surveillance.

C'est à l'exposé de l'état actuel de la question du charbon pulvérisé qu'est consacré le rapport ci-après, établi au nom de la 3e sous-commission par M. Paul Frion, directeur de l'Office central de Chauffe rationnelle.

Le vice-président de la Commission,
Walckenaer.

Le secrétaire,
Lancrenon.

(1) *Journal officiel* du 8 mai 1921. Le texte donné dans le *Journal officiel* renferme des erreurs typographiques qui ont été corrigées, par M. P. Frion, dans le texte donné ici.

(2) Voir le premier et le second rapport dans les *Bulletins* de janvier 1921, p. 124 à 137, et de mars 1921, p. 286 à 301.

Le chauffage au charbon pulvérisé.

Rapport de la 3e sous-commission.

I. — Introduction.

L'emploi du charbon à l'état pulvérisé, essayé jadis sans grand succès en Europe, prend en Amérique un développement très rapide.

Le nouveau procédé a de chauds partisans qui prétendent qu'il fait réaliser des économies très importantes de combustible par rapport aux procédés anciens. Mais il a aussi des détracteurs qui contestent cette économie et lui reprochent les dangers d'explosion qui lui sont inhérents, et le coût élevé des installations qu'il exige.

Il est très important, pour la bonne utilisation du combustible en France, que la valeur réelle de ce nouveau mode d'emploi du charbon soit déterminée. La vogue dont il est l'objet en Amérique le rend digne d'une étude approfondie. Cette étude est à poursuivre par voie expérimentale. En attendant qu'elle ait fourni un résultat définitif, il a paru utile de préciser l'état actuel de la question.

C'est le but du présent rapport.

Pour l'établir, nous avons eu recours en premier lieu aux documents qu'ont pu nous fournir certains organismes officiels : le Bureau des mines de Washington, dépendant du ministère de l'Intérieur américain, le Bureau des mines du Canada (Ottawa), le Bureau de recherches des combustibles de Londres, dépendant du Ministère des recherches scientifiques et industrielles anglais, la Haute Commission technique française actuellement à New-York.

D'autre part, nous avons entendu les principaux constructeurs des appareils, qui ont grandement facilité notre tâche en mettant à notre disposition des documents auxquels nous avons fait de nombreux emprunts : nous sommes heureux de les en remercier et plus particulièrement :

MM. Stein et Puech, de la combustion rationnelle;

M. Maury, de la société des Combustibles pulvérisés;

M. Poitte, représentant en France du système Bergmann;

MM. Sabatier, Rabu et Constantin, représentants de la Fuller Engineering Company;

MM. Richemond et Soulary, administrateur et directeur de la Quigley-France.

M. Bulle, de retour d'une mission en Amérique, nous a communiqué des renseignements précis recueillis sur place.

Nous avons parcouru d'autre part la littérature déjà assez complète de la question, se composant surtout de publications américaines, souvent contradictoires (1).

Nous devons enfin signaler la collaboration continuelle au cours de cette étude de M. Clerget, ingénieur principal de l'Office central de chauffe rationnelle, dont la réelle compétence et une expérience du charbon pulvérisé de plusieurs années nous a été des plus précieuses.

(1) Nous signalons spécialement les trois ouvrages suivants :
Léonard C. Harvey, *Les systèmes de charbon pulvérisé en Amérique*, publié en 1919 par le ministère des Recherches scientifiques et industrielles de Londres.
Herington, *Powdered coal as a fuel* (Londres, 1920).
Fr. Munzinger, *Kohlenstaubfeuerungen für Dampfkung* (Julius Springer, Berlin, 1921).

II. — Développement actuel de l'emploi du charbon pulvérisé.

Le chauffage au charbon pulvérisé, dont l'idée remonte à plus d'un siècle, a été appliqué en Amérique il y a environ vingt-cinq ans, aux fours à ciment rotatifs avec lesquels il donna immédiatement d'excellents résultats.

Actuellement, dans tous les pays, la plupart des grands fours à ciment du type rotatif sont chauffés de cette manière. La consommation pour ce mode de chauffage, aux États-Unis seulement, est actuellement de 5 millions de tonnes de charbon pulvérisé par an.

Une dizaine d'années après le début de cette première application, vers 1905, toujours en Amérique, plusieurs usines métallurgiques traitant le cuivre ou l'acier expérimentèrent avec succès le chauffage des fours au moyen de charbon pulvérisé; toutefois, le procédé ne se développa dans ces industries qu'assez lentement.

Ce n'est que depuis 1911 environ, quand les perfectionnements apportés à ce mode de chauffage eurent permis son adaptation à la plupart des fours, que le procédé entra aux États-Unis dans la pratique courante des industries métallurgiques.

Le développement devint assez rapide à partir de cette époque et actuellement les industries du fer et de l'acier emploient environ 3 à 4 millions de tonnes de charbon pulvérisé par an, et les industries du cuivre un tonnage à peu près égal.

En ce qui concerne les chaudières à vapeur, bien que les premières tentatives américaines remontent à 1913 et que quelques installations isolées aient déjà fonctionné d'une façon encourageante en 1918, les installations existant aux États-Unis avaient, jusqu'en 1920, un caractère trop expérimental et portaient sur un nombre trop restreint de chaudières pour être réellement démonstratives. A la fin de l'année 1919, la consommation totale pour les chaudières ne dépassait certainement pas 200.000 t par an.

Quoi qu'il en soit, le développement du procédé, pour l'ensemble de l'industrie, était tel à la fin de l'année 1919, que la consommation de combustible pulvérisé aux États-Unis pour l'année écoulée s'était élevée au chiffre de 12 millions de tonnes.

Ce chiffre global, qui nous a été donné par différents ingénieurs français ayant effectué en Amérique des missions d'étude, est également mentionné dans la publication officielle du ministère des Recherches scientifiques et industrielles de Londres : « Les systèmes de charbon pulvérisé en Amérique », par Léonard C. Harvey.

Depuis le début de 1920, le développement de l'emploi du charbon pulvérisé en Amérique paraît s'accélérer, surtout en ce qui concerne les chaudières, d'une façon très rapide.

En vue de préciser cette accélération, nous avons relevé aussi complètement que possible la liste des installations de charbon pulvérisé réalisées en Amérique, en les classant d'après les différentes catégories d'industrie et en indiquant, pour les chaudières, les dates de mise en service.

Il résulterait de cette liste, qui sera publiée par ailleurs(1), que le nombre des chaudières au charbon pulvérisé, installées ou équipées pour ce mode de chauffage au cours de l'année 1920, aurait dépassé le double du total des chaudières au charbon pulvérisé installées ou équipées jusqu'à la fin de 1919, soit environ 50.000 m² de surface de chauffe, et que de très nombreuses installations nouvelles seraient actuellement en voie d'exécution.

A l'appui de cette dernière information, nous ne citerons que l'exemple particulièrement démonstratif de l'installation nouvelle de 50.000 chevaux, en cours de montage à la Milwaukee Electric Railway and Lighting C°, destinée à alimenter une centrale de 200.000 kW.

L'installation de cette centrale, qui constituera la plus importante station électrique du monde chauffée uniquement au charbon pulvérisé, n'a été décidée qu'après des essais effectués à la centrale de Oneida Street, à Milwaukee, de la même compagnie, essais qui ont duré deux ans et demi.

Dans les autres pays, l'emploi du charbon pulvérisé, quoique plus tardif et plus hésitant, semble maintenant progresser.

L'Angleterre, l'Italie, l'Espagne, la Belgique, l'Allemagne sont entrés dans la voie nouvelle.

En France, les appareils individuels du type aéro-pulvériseur ou pulvéro-brûleur ont été d'abord accueillis assez favorablement, surtout dans le cas des fours, en raison de leur simplicité et de leur prix moins élevé. Les chaudières ont été équipées plus tardivement.

Cependant, les installations complètes avec centrale de pulvérisation semblent à leur tour se développer. L'une de ces installations, alimentant des fours, fonctionne à Paris depuis un an. Une autre, exclusivement pour chaudières, destinée à une centrale de 30.000 kW, est en cours de montage à Bruay. D'autres encore sont en voie d'achèvement à la frontière belge et dans la Loire.

La liste de la plupart des installations européennes sera publiée par ailleurs (1).

III. — Description sommaire d'une installation de charbon pulvérisé et conditions de son emploi.

Le charbon pulvérisé peut être produit soit dans des appareils alimentant chacun un seul foyer, soit dans des « centrales de pulvérisation », d'où il est emmené et distribué à des foyers plus ou moins nombreux et distants.

Dans le premier cas, il est possible d'utiliser des appareils assez simples, formant un tout complet, qui préparent le charbon et l'envoient immédiatement dans le foyer avec l'air nécessaire; ce sont les aéro-pulvériseurs et les pulvéro-brûleurs, que nous décrirons plus loin.

Disons toutefois que ces appareils individuels ne se sont guère répandus en Amérique.

Dans le second cas, qui est presque toujours celui des installations américaines, le charbon, préparé dans une centrale de pulvérisation, est généralement distribué aux différents appareils de chauffage par une canalisation fixe, dans laquelle la progression de la pousssière de charbon est assurée soit au moyen de dispositifs purement mécaniques, soit pneumatiquement.

On a aussi préconisé aux États-Unis l'installation d'une centrale commune à plusieurs usines, avec transport du charbon pulvérisé par wagons ou par camions-citernes.

Nous allons envisager d'abord le cas des installations les plus importantes et les plus nombreuses, en indiquant les dispositions essentielles d'une centrale de pulvérisation, d'un système de transport du charbon pulvérisé par canalisation fixe et, enfin, des appareils d'utilisation (brûleurs).

Nous dirons ensuite quelques mots des appareils que l'on peut appeler individuels, c'est-à-dire des aéro-pulvériseurs ou pulvéro-brûleurs, desservant chacun un seul foyer.

1° **Centrale de pulvérisation.** — La préparation du combustible dans une centrale de pulvérisation comporte, d'après la pratique actuelle, quatre opérations successives qui peuvent n'être pas toutes nécessaires dans tous les cas, mais que nous devons passer en revue. Ce sont le concassage, le séchage, la pulvérisation et la séparation du charbon.

A. CONCASSAGE DU CHARBON. — La dessiccation du charbon, généralement considérée comme nécessaire avant la pulvérisation, n'est pratiquement possible que si le combustible n'est pas en morceaux plus gros qu'une noisette (passage au travers de l'anneau de 15 millimètres). Dans certains cas, on doit donc commencer par faire passer le charbon

(1) Voir *Chaleur et Industrie*, mai et juin 1921.

dans un concasseur. En outre, pour éviter toute détérioration du moulin à pulvériser, on débarrassera également le charbon, dans un séparateur magnétique, de toutes les pièces métalliques qu'il peut contenir, boulons, écrous, clous, etc.

B. Séchage du charbon. — Pour obtenir une bonne pulvérisation, on a jusqu'à présent regardé, à tort ou à raison, comme indispensable de sécher préalablement le charbon avant broyage et de pousser cette dessiccation aussi loin que possible, c'est-à-dire jusqu'à obtenir moins de 0,5 à 1 p. 100 d'humidité.

Ce séchage a d'ailleurs l'avantage d'empêcher la poussière de charbon de s'agglomérer ultérieurement en petits paquets, préjudiciables au bon fonctionnement des appareils de transport et de distribution, et des brûleurs. Un séchage inégal ou incomplet peut, en effet, causer des obstructions dans ces appareils et entraîner une alimentation irrégulière des foyers; d'où impossibilité de maintenir dans le foyer une température constante et une fixité de la zone de combustion.

Les sécheurs employés consistent en des fours rotatifs inclinés tournant très lentement et chauffés à l'aide d'un petit foyer à grille.

Ils doivent sécher le charbon d'une manière très régulière et très modérée. Il faut, en effet, éviter toute distillation partielle du charbon; or, la distillation commence, comme l'on sait, avec certains charbons, au-dessous de 100°.

En outre, un échauffement trop fort du charbon, indépendamment de la perte de calories qui en est la conséquence immédiate, comporte des risques d'allumage et d'explosion.

Pour arriver au résultat cherché, les gaz du foyer contournent le cylindre contenant le combustible avant de passer à l'intérieur de ce cylindre.

Les meilleurs sécheurs seront ceux pour lesquels ce contact préliminaire des gaz avec les parois du cylindre est le plus complet possible et pour lesquels la température, le courant de gaz chauds et même le tirage sont le plus facilement réglables.

C. Pulvérisation du charbon. — Bien que les frais d'installation de la pulvérisation du charbon soient très élevés, il est cependant indispensable, pour la bonne utilisation du charbon, de le pulvériser très soigneusement. Le charbon insuffisamment pulvérisé brûle d'une façon incomplète et reste partiellement dans les cendres.

La ténuité du charbon doit d'ailleurs être en rapport avec sa qualité; on conçoit, en effet, que des charbons peu riches en matières volatiles et particulièrement chargés en cendres exigent une pulvérisation plus fine pour pouvoir être brûlés complètement par la quantité d'air théorique que des charbons très riches en matières volatiles et surtout peu cendreux : la présence des éléments incombustibles qui constituent les cendres réduit le contact des grains de charbon avec l'air de combustion; il faut donc fractionner ces grains davantage.

Pour citer quelques chiffres :

Un charbon à 30 p. 100 de matières volatiles et à 10 p. 100 de cendres brûlera bien, même s'il laisse un résidu de 15 p. 100 au tamis de 100 (mailles au pouce linéaire), alors qu'un charbon à 20 p. 100 de matières volatiles et 12 p. 100 de cendres devra ne laisser qu'un résidu de 5 p. 100 au tamis de 200.

La finesse du broyage est obtenue le plus souvent dans des appareils tournant à grande vitesse (1.400 tours environ à la minute) soit au moyen de boulets circulant dans une gouttière concave et offrant ainsi de grandes surfaces d'écrasement, soit par des galets venant s'appuyer en tournant contre un cercle de broyage.

Ces moulins à pulvériser, étant donné qu'ils doivent marcher à très grande vitesse, ne devront pas être trop compliqués, pour éviter des arrêts très fréquents; les organes broyeurs devront être soigneusement étudiés en vue d'éviter une usure trop rapide; ils devront être facilement accessibles pour faciliter le nettoyage et l'entretien, mais cepen-

dant d'une étanchéité absolue. C'est l'absence de cette dernière condition qui, dans la plupart des cas, a été la cause de l'allumage par frottement à l'air, des particules de charbon et des explosions dues au broyeur.

Il importe de s'attacher dans la construction à réduire au minimum la consommation d'énergie.

Il existe également des broyeurs à faible vitesse et à grande surface de broyage, combinaison d'un broyeur à boulets et d'un tube mill, analogue à ceux utilisés pour les ciments. Ces appareils peuvent prendre le charbon même en morceaux de la grosseur du poing; comme contre-partie de cet avantage, ils sont nécessairement plus encombrants que les précédents, plus coûteux d'installation et d'une consommation d'énergie plus élevée. Ils doivent être comme les autres d'une étanchéité absolue.

D. Séparation du charbon broyé. — Suivant les moulins, la séparation et l'évacuation du charbon broyé peut se faire de deux manières différentes :

Dans les uns, cette double opération s'effectue au moyen d'un tamis à mailles fines au travers duquel le charbon est aspiré par un ventilateur à faible vitesse qui, dans ces conditions, ne demande qu'une puissance minime et dont l'usure est faible. Le charbon vient, en effet, frapper d'abord le tamis qui peut être facilement remplacé en cas d'usure.

Elle s'obtient dans les autres par entraînement au moyen d'un courant d'air en circuit fermé réalisé à l'aide d'un ventilateur exhausteur à très grande vitesse (1.000 à 1.250 tours à la minute) et d'un séparateur cyclone dans lequel se dépose le charbon entraîné.

Le ventilateur exhausteur, dont la vitesse et le volume d'aspiration doivent être réglés de façon que seules les particules ayant le degré de finesse voulue soient entraînés hors du broyeur, doit être relativement puissant pour effectuer cette aspiration. Il doit être également très robuste pour que ses ailes puissent résister à l'usure rapide due au frottement de la poussière de charbon.

D'une façon générale une pulvérisation insuffisante ou irrégulière peut être la cause d'une mauvaise combustion avec tous les inconvénients qui en résultent. Il ne faudrait pas cependant faire état de cet argument pour exagérer le degré de finesse du charbon à obtenir. La pulvérisation doit être suffisante pour obtenir une bonne combustion, mais un broyage trop poussé accroît inutilement et dans de très fortes proportions la dépense d'énergie.

Les meilleurs broyeurs seront ceux qui pourront donner régulièrement un produit de finesse voulu, bien homogène, avec le minimum de dépense d'énergie et d'entretien.

En particulier la puissance absorbée, qui dépend surtout du mode de séparation adopté, peut varier autour de 10 ou 15 kW par tonne de charbon pulvérisé à l'heure, suivant le type du broyeur.

E. Ensemble de la centrale de pulvérisation. — Dans son ensemble, une centrale de pulvérisation, où le charbon subit les traitements successifs que nous venons de décrire, comprend les appareils suivants :

Un silo de réception du charbon avec grille à barreaux retenant les blocs à concasser;

Un convoyeur entraînant les blocs vers le concasseur;

Un concasseur à mâchoires ou à dents;

Un élévateur de charbon concassé;

Un séparateur magnétique;

Une trémie de réception du charbon concassé;

Un distributeur automatique envoyant ce charbon dans le sécheur;

Un sécheur rotatif;

Un élévateur de charbon séché;

Une trémie de réception du charbon séché;

Un moulin à pulvériser avec son système de séparation soit par tamis, soit par l'air, avec son ventilateur et son cyclone;

Une trémie de réserve.

L'installation doit être méthodiquement comprise avec des passerelles et des plates-formes en nombre suffisant pour rendre très facile l'accès de toutes les parties, tant pour la visite que pour le démontage et l'entretien.

Pour un tel ensemble, convenablement étudié et réalisé, la consommation totale en force motrice ne doit pas dépasser 15 kWh par tonne de charbon pulvérisé.

2° **Transport du charbon pulvérisé.** — Le transport du combustible pulvérisé aux appareils d'utilisation se fait par divers moyens dont le choix dépend essentiellement des données relatives à chaque installation, de son étendue, de sa configuration, de sa complexité.

A. TRANSPORT MÉCANIQUE. — Il semble que, pour les petites distances et pour les installations ne présentant que peu de ramifications, le transport mécanique par vis peut être préféré pour sa simplicité et la modicité relative de ses frais d'installation.

Le charbon pulvérisé tombe directement de la trémie de réserve dans un convoyeur à hélice; il est reçu aux endroits de consommation dans les trémies de réception.

La variation de niveau du combustible dans ces trémies permet de se rendre compte de la consommation de chaque foyer.

B. TRANSPORT PNEUMATIQUE. — Les installations étendues, présentant de nombreuses lignes ramifiées et des appareils d'utilisation placés à des niveaux différents, nécessitent, dans le système du transport mécanique, d'assez grandes complications et notamment l'installation d'élévateurs. Il semble que dans ce cas, pour faire passer le charbon de la trémie de réserve aux foyers, la préférence doive aller plutôt vers les procédés de transport pneumatique.

Deux solutions sont possibles :

a) Le transport pneumatique par émulsion, c'est-à-dire par entraînement du charbon pulvérisé dans un courant d'air continu relativement rapide (25 m à la seconde) et d'une teneur d'environ 1 kg de charbon pour 4 à 5 kg d'air.

b) Le transport pneumatique à haute pression, c'est-à-dire au moyen d'air comprimé à 4 ou 5 kg environ, agissant sur le charbon par une série d'impulsions discontinues successives.

a) *Transport pneumatique par émulsion.* — Le premier procédé, qui est le plus ancien en date, comporte un circuit fermé de conduites très larges, permettant le passage du charbon émulsionné et une série de ventilateurs disposés de place en place le long de ce circuit pour maintenir le charbon en suspension; des tuyaux plus petits, conduisant directement aux foyers, sans trémies d'utilisation, sont branchés sur la conduite principale.

En raison même de ce mode de distribution, le mélange est le même aux différents foyers, et un arrêt même momentané dans la conduite principale entraîne l'arrêt de tous les foyers.

Pour obtenir une chauffe régulière, il faut que le mélange de charbon et d'air conserve dans la conduite principale une teneur bien constante et un débit toujours supérieur à la consommation totale des différents foyers.

C'est à cet effet que, en dépit de la dépense très importante d'énergie, aussi bien à vide qu'à plein débit, les ventilateurs fonctionnent continuellement sur la conduite, en faisant décrire au combustible un mouvement incessant et très rapide. Les coudes doivent, en outre, être évités, pour empêcher les dépôts de charbon qui altéreraient la qualité du mélange.

Dans certains cas même, un dispositif spécial de diaphragme ou de régulateur à cône mobile permet de maintenir la constance du mélange, par des apports automatiques de charbon, lorsque la pression baisse ou que la quantité d'air augmente.

Dans ce système, les conduites, les ailettes des ventilateurs et même les revêtements réfractaires des foyers doivent être prévus de manière à pouvoir résister à l'action abrasive du charbon circulant continuellement à grande vitesse.

b) *Transport pneumatique à haute pression.* — Le second procédé, plus récent, est à circuit ouvert. Il comporte un réservoir d'air comprimé et sec à 7 kg environ, alimenté par un compresseur, qui agit, dans un second réservoir, sur le charbon s'écoulant de la trémie de réserve, pour l'envoyer par des conduites de faible diamètre (10 cm au plus) aux différents points d'utilisation.

Le réservoir d'envoi du charbon comporte en général un dispositif de pesage automatique, indiquant le poids de chaque « éclusée de charbon » envoyée et un jeu de valves et de robinets, permettant l'envoi convenable dans une direction déterminée.

Il est ainsi possible d'alimenter chacun des foyers, exactement suivant sa demande, et d'une façon absolument indépendante des autres foyers. On réalise de cette manière le contrôle du combustible pour chaque destination. En faisant varier d'autre part l'air de combustion, on peut obtenir pour chaque foyer un type de combustion particulier.

Chaque conduite distributive de charbon aboutit à un cyclone où se fait la séparation : le charbon tombe du cyclone dans la trémie du foyer située au-dessous, et l'air s'échappe dans l'atmosphère.

Quel que soit le procédé pneumatique adopté, on comprend aisément que la consommation de force motrice très notable qu'il exige pour la production de l'air comprimé (au moins 5 kWh par tonne de charbon envoyé à 200 m de distance) puisse être compensée par la souplesse du système en ce qui concerne le tracé de la canalisation. Néanmoins ces procédés perdent de leurs avantages quand la consommation individuelle des appareils est très élevée.

C. Transport mixte. — En outre du transport purement mécanique et des transports exclusivement pneumatiques, on doit encore citer un procédé relativement récent, un procédé mixte, dans lequel le charbon « aéré » pour ainsi dire, par une petite quantité d'air comprimé à haute pression, peut être refoulé au travers d'un tuyau en fer de petit diamètre, au moyen d'une vis sans fin tournant à grande vitesse (750 tours par minute) et constituant une espèce de pompe rotative.

Ce procédé, qui se rapproche du transport mécanique par sa simplicité théorique, garde en même temps toute la souplesse des procédés de transport pneumatique.

D'autre part, la consommation d'énergie nécessaire serait, paraît-il, notablement inférieure à celle exigée par ces derniers. Sa réalisation demande une construction parfaite.

D'une façon générale, pour éviter les explosions de mélange tonnant, la condition primordiale demandée aux différents modes de transport est de comporter des conduites bien étanches; avec les procédés pneumatiques notamment, cette étanchéité doit être absolue.

3° **Utilisation du charbon.** — L'utilisation parfaite du charbon est un des points les plus importants et des plus délicats du problème. Pour l'assurer, on a recours, dans la plupart des cas, à l'emploi de brûleurs spéciaux de types variés. Nous verrons cependant qu'un brûleur proprement dit n'est pas toujours nécessaire et que pour les appareils individuels notamment, que nous décrirons plus loin, la conduite d'arrivée du charbon pulvérisé débouche directement dans le foyer sans aucune complication d'appareil spécial.

Quoi qu'il en soit, il est nécessaire que le charbon soit servi avec une parfaite régularité au brûleur ou au dispositif qui en tient lieu et que, d'autre part, ce brûleur ou ce dispositif soit d'un bon fonctionnement. Envisageons successivement ces deux conditions ;

a) *Alimentation des brûleurs.* — Dans les cas les plus simples, ne comportant pas de trémies d'utilisation près des foyers, les conduites de transport du charbon aboutissent

directement aux brûleurs et une simple vanne règle l'admission du mélange pulvérisé entraîné dans le brûleur.

Mais en général, le charbon s'écoule de la trémie d'utilisation dans le brûleur, par l'intermédiaire d'un distributeur placé à sa partie inférieure.

Ce distributeur appelé parfois « contrôleur » consiste en un petit convoyeur à vitesse variable, soit à une vis, soit à deux vis convergentes, qui permet de régler l'arrivée du charbon dans le brûleur et d'obtenir une alimentation bien continue.

L'alimentation continue du brûleur est peut-être le point le plus délicat de l'utilisation du charbon pulvérisé; c'est sa parfaite régularité qui assure la constance d'une bonne combustion, évite les extinctions et les rallumages inopinés, principales causes des arrêts et le plus souvent des accidents.

Certains dispositifs doivent presque uniquement leur supériorité à leur bon mécanisme d'alimentation, dont la forme, tout particulièrement étudiée, assure une vidange très régulière de la trémie d'utilisation, sans formation de « ponts » dans la poussière du charbon emmagasiné, « ponts » qui arrêteraient l'écoulement.

b) *Brûleurs.* — Le combustible arrive au brûleur, soit entraîné par l'air ayant servi à son transport, soit en tombant simplement par gravité.

Dans la plupart des brûleurs un courant d'air primaire de pression moyenne (8 à 25 cm, suivant les modèles) et de débit plus ou moins important suivant la proportion d'air de transport mêlé au charbon, entraîne le combustible à travers le brûleur. A la sortie du brûleur, une arrivée réglable d'air secondaire à basse pression (2 à 3 cm) qui peut être, le cas échéant, de l'air de récupération, permet d'obtenir une combustion complète.

En général, l'air primaire à pression moyenne arrive dans l'axe du jet et l'air secondaire à basse pression à la périphérie.

Dans certains brûleurs, cependant, il n'est fait usage que d'air à basse pression (25 mm). Cet air se partage en deux jets : l'air primaire, entraînant le charbon qui tombe par gravité, est canalisé en forme de jet annulaire, et c'est dans l'axe de ce jet qu'est insufflé ensuite l'air secondaire, constituant une veine centrale à l'intérieur du mélange. Outre la dépense plus faible en force motrice (plus basse pression), on obtient ainsi une flamme d'un gros volume et sans vitesse, comme dans le cas de la combustion ordinaire du gaz, au lieu du jet vif et de grande longueur que l'on obtient ordinairement avec les brûleurs à grande vitesse.

Il est vrai qu'une valeur élevée de la vitesse du jet, présente en certains cas un avantage. Les cendres peuvent se trouver de la sorte entraînées au delà du foyer et, si elles sont infusibles, comme d'autre part elles sont très fines, elles s'échapperont par la cheminée dans l'atmosphère.

Mais si l'on a affaire à des cendres fusibles, ou s'il s'agit de fours à récupérateurs, dont les cendres engorgeraient les chambres, les conséquences d'une telle méthode pourraient être très gênantes.

De plus, une vitesse trop grande à l'entrée d'un foyer est susceptible de déplacer la zone de combustion et par suite la zone de température, ce qui pourrait entraîner dans certains cas la destruction des revêtements réfractaires situés en face de la flamme.

Il est des fours où ce déplacement de la zone de combustion risquerait aussi de produire une altération des produits traités.

Enfin l'on signale, comme inconvénient possible de l'emploi de brûleurs à forte pression dans certains fours, le risque de projection de flammes ou de gaz brûlants hors du four par les regards ou tampons que l'on viendrait à ouvrir au cours du fonctionnement.

Pour ces divers motifs, la question de la pression d'air aux brûleurs doit être étudiée avec soin.

Dans certains dispositifs spéciaux pour locomotives, le distributeur et le brûleur sont combinés ensemble : la vis hélicoïdale d'alimentation est dans le tube central du brûleur, l'air primaire à 30 cm de pression arrive concentriquement à ce tube.

4° **Appareils individuels complets pour un seul foyer.** — Nous verrons qu'une installation complète avec centrale de pulvérisation, telle que nous venons de la décrire, et en tenant compte de tous les éléments (installation, entretien, amortissement et main-d'œuvre), n'est intéressante à construire que pour une consommation de charbon d'au moins 20 t par jour.

Si l'on veut cependant employer le charbon pulvérisé pour des consommations moindres, ou pour des essais, ou encore (comme nous l'indiquions plus haut) pour des foyers isolés, on peut avoir recours aux appareils individuels que nous avons déjà signalés et qui constituent des ensembles simples et peu encombrants. Un appareil de ce genre peut être établi soit pour une consommation ne dépassant pas 100 kg de charbon à l'heure, soit pour des consommations plus importantes, pouvant atteindre le chiffre horaire de 2 t.

L'appareil se compose d'un pulvériseur à palettes ou à marteaux, tournant à très grande vitesse, et d'un ventilateur qui aspire la poussière de charbon, la mélange à la quantité d'air nécessaire à la combustion et la refoule directement dans le foyer au moyen d'une conduite en tôle mince. Le réglage est assuré par un registre qui agit sur l'aspiration de l'air.

Ces appareils utilisent du charbon concassé ou dont les morceaux n'excèdent pas 30 mm et ayant d'ordinaire moins de 3 à 4 p. 100 d'eau.

Quoique n'exigeant pas un séchage préalable ils donnent cependant un produit pulvérisé dont 80 p. 100 peut passer au travers du tamis de 100, sans demander une trop grande dépense d'énergie. Mais s'il faut une finesse de grain plus grande, la puissance nécessaire croît dans des proportions très élevées et le débit des appareils diminue.

Dans ces appareils, les débits d'air et de charbon sont tous deux fonction de la vitesse de rotation du broyeur-ventilateur, de telle sorte que le dosage de l'air comburant ne fait pas l'objet d'un réglage indépendant. L'expérience montre que le dosage automatique ainsi réalisé suffit généralement en pratique; la combustion est satisfaisante et les cendres ne contiennent que peu d'imbrûlés.

La plupart des charbons peuvent être employés dans les appareils de ce genre. Toutefois, avec des charbons à cendres fusibles, des inconvénients sont à craindre. De même des charbons à humidité variable peuvent rendre la combustion très irrégulière.

En résumé, ce sont des appareils qui, quoique un peu sommaires, peuvent toutefois rendre, dans certains cas, de réels services, en permettant l'emploi de charbons non séchés avec une installation très simple. Il est à noter qu'ils ont contribué à vulgariser l'emploi du charbon pulvérisé en France.

5° **Centrale de pulvérisation pour la vente de charbon pulvérisé aux industriels.** — Il ne peut être question, avons-nous dit, d'installer des centrales de pulvérisation dans les petites usines, et, pour celles-ci, nous avons indiqué l'emploi des appareils individuels complets, comme pouvant être envisagé quand les circonstances s'y prêtent.

Une autre solution serait possible : elle consisterait à installer dans certains grands centres industriels ou sur le carreau de certaines mines, de puissantes centrales de pulvérisation qui délivreraient, soit par canalisation à longue distance, soit par camions ou par wagons-citernes, du charbon pulvérisé aux usines équipées pour le brûler.

L'équipement de chaque foyer serait dans ce cas très simple : il se composerait seulement d'une trémie et d'un brûleur.

Une solution de ce genre, consistant en chaudières de chauffage central approvisionnées de cette manière (wagons-citernes puis camions-citernes), fonctionne depuis 1917 aux États-Unis, à Seattle (Pacific Coalt Coal and C°). D'autres existeraient, paraît-il, à Chicago et San-Francisco.

IV. — Avantage du charbon pulvérisé. Possibilité de son emploi dans les diverses industries.

Nous allons passer successivement en revue les avantages invoqués par les partisans du charbon pulvérisé. Nous distinguerons les deux cas suivants dont les conséquences pratiques sont assez différentes :

1° Emploi d'un combustible de qualité courante;

2° Emploi de combustibles défectueux.

1° **Cas d'un combustible courant.** — Les principaux avantages revendiqués sont les suivants :

A. Une meilleure combustion du charbon se traduisant par :

a) Un réglage meilleur de la combustion;

b) Une utilisation plus complète du pouvoir calorifique;

c) Un réglage meilleur de la flamme;

B. Une très grande constance du rendement thermique, quelles que soient :

La variation de production;

La qualité du charbon.

C. Dans certains cas une simplification possible du matériel des foyers, suppression en particulier :

Des grilles mécaniques;

Des foyers soufflés.

D. Une très grande souplesse d'emploi en ce qui concerne notamment :

La mise en route;

Les variations de marche et les arrêts;

Les modifications d'allure (oxydante ou réductrice);

L'emploi éventuel de différents combustibles.

E. Une économie de main-d'œuvre :

En qualité;

Et en quantité.

Nous allons examiner successivement ces différents points d'après les renseignements donnés par les usagers eux-mêmes en Amérique et par les différents constructeurs : beaucoup de ces renseignements sont constitués par des essais complets d'installation en fonctionnement et semblent vraiment dignes de foi; nous les comparerons aux chiffres relatifs aux autres modes d'utilisation du charbon, tirés de la pratique industrielle et en particulier aux mesures effectuées par les ingénieurs de l' « Office central de chauffe rationnelle » au cours de leurs nombreuses interventions dans les usines. Nous aurons soin de choisir comme termes de comparaison les meilleurs résultats obtenus.

A. Meilleure combustion du charbon. — Le principal avantage du chauffage au charbon pulvérisé provient de ce que le charbon en fine poussière peut être brûlé complètement dans des conditions très voisines de celle de la combustion théorique, c'est-à-dire sans défaut ni excès d'air, avec un maximum de gaz carbonique dans les fumées et un minimum d'imbrûlés dans les cendres, et de ce que la chaleur dégagée par la combustion, étant produite à une température particulièrement élevée, peut en principe être utilisée dans les meilleures conditions possibles.

a) *Combustion sans défaut ni excès d'air.* — Pour obtenir la combustion la meilleure du charbon, il est nécessaire d'arriver à se rapprocher le plus possible de la quantité d'air théorique, tout en maintenant une combustion complète.

Tout excès d'air est en effet nuisible, parce qu'il réduit, d'une part, la température de combustion et diminue en conséquence le coefficient d'utilisation de la chaleur dégagée et parce qu'il entraîne, d'autre part, une perte supplémentaire de calories à la cheminée

Or, la disposition en couches, qui est celle du combustible dans les foyers à grille, n'est guère favorable à un mélange intime du comburant et du combustible; seule la partie de l'air en contact avec le charbon, prend part à la combustion et le restant de l'air admis ne fait que traverser le foyer en lui empruntant des calories qui sont entraînées inutilement à la cheminée.

Si l'on cherche à réduire l'excès de l'air, la combustion du charbon devient incomplète.

D'autre part, dans le cas du chauffage à la main, l'ouverture des portes cause aussi des rentrées d'air frais nuisibles sur la grille. Enfin, lors des chargements, le contact d'une couche fraîche de combustible avec la couche incandescente existante provoque la distillation de gaz combustibles non brûlés, ce qui est encore une nouvelle source de pertes.

Dans le cas des grilles mécaniques, il n'y a ni ouvertures intermittentes de portes, ni discontinuité des chargements. Il n'en est pas moins vrai que, même avec les grilles mécaniques, telles qu'elles sont à l'heure actuelle le plus ordinairement employées, il est assez rare de dépasser, d'une manière courante, dans le chauffage des chaudières à vapeur, une teneur de 12 p. 100 d'anhydride carbonique dans les fumées (ce qui correspond à un excès d'air de 100 p. 100 environ) sans voir apparaître de l'oxyde de carbone ou avoir une proportion exagérée d'imbrûlés dans les escarbilles.

Dans les fours à grille, la teneur moyenne en gaz carbonique est plus forte. Avec des foyers bien conduits, elle atteint 15 p. 100 environ dans les fours de forge, les fours d'estampage, les fours à traitement thermique et les fours à réverbère à divers usages dans lesquels la température du laboratoire est supérieure à 800 degrés. Cette teneur correspond encore à un excès d'air de 60 p. 100.

Dans les fours dits « mi-gaz », la teneur en gaz carbonique est généralement plus faible que dans les fours à grille, par suite d'un mauvais réglage de l'air secondaire.

Le principe de l'emploi du charbon sous forme pulvérisée permet au contraire, avons-nous dit, de se rapprocher le plus possible de la combustion théorique avec minimum d'excès d'air.

Le charbon se présentant en effet sous forme de fine poussière, chacune des particules peut se trouver entourée de la quantité exacte d'oxygène nécessaire à sa combustion. D'autre part, le soufflage du mélange dans le foyer rend parfait le brassage du combustible avec le comburant et favorise la combustion complète en permettant aux gaz du charbon, qui distillent, d'être brûlés immédiatement en même temps que les particules de coke résultantes.

En somme, le nuage de combustible pulvérisé doit brûler dans le foyer dans des conditions assez analogues à celle des combustibles liquides ou gazeux. Certains prétendent même que le brassage uniforme est plus facile à assurer avec le poussier de charbon qu'avec un liquide visqueux comme le mazout.

En fait, si l'on considère les nombreux essais de foyers au charbon pulvérisé dont les comptes rendus sont parvenus à notre connaissance, on constate que la teneur en gaz carbonique des fumées, qu'il s'agisse de chaudières ou de fours, peut s'élever à environ 14 et 17 p. 100, et cela dans la pratique courante.

Dans les fours à ciment en marche courante, des essais faits par des ingénieurs de l' « Office central de chauffe rationnelle » ont permis de vérifier que la combustion se faisait bien avec un excès d'air qui ne dépassait pas 1 p. 100, sans cependant qu'il y eût présence de gaz imbrûlés dans les fumées.

On n'aperçoit pas de raison pour que ce résultat ne puisse être obtenu, moyennant des dispositions convenables, soit avec d'autres types de fours, soit même dans des foyers de chaudières, pourvu que ceux-ci soient munis, s'il y a lieu, d'avant-foyers de dimension appropriés.

Toutefois, comme nous le verrons plus loin, pour les chaudières surtout, la nécessité de protéger les parois des foyers contre une trop grande élévation de température et

d'empêcher toute trace de scorification dans le cas des cendres déjà peu fusibles, peut conduire à admettre un léger excès d'air, quitte à avoir une combustion un peu moins parfaite.

Aussi nous estimons en pratique qu'il ne faut pas compter sur une moyenne d'anhydride carbonique dans les fumées de plus de 17 p. 100 pour les fours, et de plus de 14 p. 100 pour les chaudières.

Nous résumons ci-dessous, pour diverses températures de fumée, les pertes totales à la cheminée, correspondant à diverses teneurs moyennes en anhydride carbonique, pour des fours et des chaudières chauffées soit avec foyer à grille, soit au charbon pulvérisé. Nous entendons par perte totale l'ensemble des calories non dégagées par suite de combustion incomplète et de celles emportées à la cheminée, sous forme de chaleur sensible, par suite de la température des produits de la combustion et de l'air en excès.

1° Fours.

GENRE DE CHAUFFAGE DES CHAUDIÈRES	COMBUSTIBLE		FUMÉES		PERTES A LA CHEMINÉE EN P. 100 DU POUVOIR CALORIFIQUE DU COMBUSTIBLE
	P. 100 en cendres.	P. 100 en matières volatiles.	Température.	P. 100 en CO^2.	
Foyer à grille	10	25	600°	12 à 15	40 à 35
Charbon pulvérisé . . .	10	25	600°	17	31
Foyer à grille	10	25	1.000°	12 à 15	68 à 61
Charbon pulvérisé . . .	10	25	1.000°	17	55

2° Chaudières à vapeur.

GENRE DE CHAUFFAGE DES CHAUDIÈRES	COMBUSTIBLE		FUMÉES		PERTES A LA CHEMINÉE EN P. 100 DU POUVOIR CALORIFIQUE DU COMBUSTIBLE
	P. 100 en cendres.	P. 100 en matières volatiles.	Température.	P. 100 en CO^2.	
Foyer à grille	18	12	180°	10 à 12	14 à 11
Charbon pulvérisé . . .	18	12	180°	14	9
Foyer à grille	18	12	300°	10 à 12	25 à 18
Charbon pulvérisé . . .	18	12	300°	14	15

L'examen de ces tableaux conduit à conclure que pour les fours, le chauffage au charbon pulvérisé diminue les pertes à la cheminée de 4 à 9 p. 100 quand les fumées sont évacuées à 600° et de 5 à 12 p. 100 quand les fumées sont évacuées à 1.000°.

Pour les chaudières, cette diminution serait de 2 à 5 p. 100 quand la température des fumées est de 180° et de 3 à 10 p. 100 quand la température des fumées est de 300°. Le premier cas correspond à des chaudières munies d'économiseurs.

Il est bon de rappeler que pour obtenir les chiffres ci-dessus on a comparé les résultats obtenus avec le charbon pulvérisé à ceux que donnent les foyers à grille dans les installations les mieux réussies et les mieux conduites.

b) *Minimum d'imbrûlés dans les cendres.* — La plupart des moyens dont on fait usage pour utiliser le combustible ne permettent pas de brûler le charbon d'une manière absolument complète et il reste toujours une certaine proportion de carbone imbrûlé dans les cendres.

Dans les foyers à grille notamment, ces pertes par imbrûlés sont variables suivant les usines, suivant les appareils et suivant la qualité et la nature des charbons. De plus, dans les foyers chauffés à la main, elles varient selon l'habileté du chauffeur, et, dans les gazogènes, selon les conditions du chargement.

Dans la presque totalité des cas, la teneur en carbone des cendres dépasse 10 p. 100 de la quantité de cendres, ce qui, par exemple, pour du charbon à 20 p. 100 de cendres, correspond à une perte de plus de 2 p. 100 du combustible.

Dans le cas des grilles mécaniques, il est fréquent d'avoir des cendres dont la teneur en carbone atteint 20 ou même 25 p. 100. Avec les meilleures grilles, cette teneur ne descend guère au-dessous de 10 p. 100.

Dans les gazogènes, la quantité de carbone non brûlé est rarement inférieure à 15 p. 100 de la quantité de cendres avec des charbons de bonne qualité; elle peut atteindre 55 p. 100 de la quantité de cendres avec de mauvais charbons.

D'une façon générale on peut donc admettre que pour les meilleurs installations de foyers actuels, la perte de charbon, par les imbrûlés, n'est pas inférieure à 2,5 p. 100 du poids du combustible.

Passons au cas d'un foyer chauffé au charbon pulvérisé. Le combustible étant brûlé sous forme de poudre fine, dans un courant d'air convenable, on conçoit que la combustion des particules de charbon de dimensions minimes et entièrement entourées d'oxygène puisse être complète, à condition que la chambre de combustion ait les dimensions voulues.

En fait, si l'on s'en rapporte aux usagers du procédé et aux constructeurs, la perte de combustible due à la présence d'imbrûlés dans les escarbilles serait réduite à moins de 1 p. 100.

Elle proviendrait, d'ailleurs, surtout de la combustion incomplète à l'allumage.

A l'appui de ce chiffre, nous nous contenterons de citer un seul exemple, parmi les nombreux essais complets qui nous ont été communiqués.

Cet essai est relatif à 5 chaudières de la station centrale d'Oneida Street. Le charbon employé était à 12 p. 100 de cendres; la teneur en carbone des escarbilles n'était que de 7 p. 100 environ du poids des cendres, ce qui correspond à une perte de 1 p. 100 du combustible.

L'emploi du charbon sous forme pulvérisée paraît donc bien présenter à ce point de vue un avantage certain. On peut estimer que, en moyenne, il diminue la perte par imbrûlés d'environ 1,5 p. 100 du poids du combustible (1).

c) *Meilleure utilisation de la chaleur dégagée par la combustion.* — En principe et d'un point de vue général, pour être à même d'obtenir le rendement maximum des calories dégagées par la bonne combustion du charbon, il convient d'avoir dans le foyer une température aussi rapprochée que possible de la température théorique de combustion. A cet effet, il faut obtenir un régime de combustion, qui procure à la flamme le maximum de température, et faire en sorte que la dite flamme ait un développement proportionné aux dimensions du four ou de la chambre de combustion.

Dans les foyers à grille, surtout avec les approvisionnements en charbons de qualité variable, dont on dispose actuellement, ce double réglage de la flamme est sinon impossible, du moins très difficile à maintenir.

Avec le charbon pulvérisé, au contraire, comme d'ailleurs dans le cas du chauffage au

(1) On pourrait objecter que dans le cas du charbon pulvérisé, les cendres sont évacuées à une température plus haute, et par conséquent entraînent sous forme de chaleur sensible une plus forte proportion de calories. Cette perte supplémentaire est en réalité faible; en admettant qu'il y ait 200 g de cendres par kilogramme de charbon, et que la température de ces cendres soit supérieure de 300 degrés à celle des cendres d'un foyer à grille, on trouve que la perte supplémentaire serait de $0,2 \times 0,2 \times 300 = 12$ calories, ce qui représente 0,2 p. 100 des calories disponibles.

gaz ou à l'huile, on peut obtenir une allure de combustion se rapprochant constamment des conditions théoriques et assurant à la flamme le développement qui convient, grâce au réglage des appareils. Le combustible est admis, en effet, dans le foyer avec la quantité d'air strictement nécessaire; son mélange intime avec cet air est assuré comme nous l'avons précédemment montré. Dans ces conditions, avec la restriction toutefois que le mélange n'arrive pas sous une trop grande pression, la combustion a lieu dès l'entrée dans le foyer, et tous les hydrocarbures distillés sont brûlés immédiatement, en même temps que les particules de coke résiduel.

La combustion est donc immédiate et complète avec une quantité d'air très voisine de la quantité théorique.

Toutefois, il n'en serait plus de même dans le cas où le mélange combustible arriverait dans le foyer sous une trop grande pression; la vitesse de ce mélange pourrait, en effet, devenir supérieure à la vitesse d'inflammation et la combustion n'aurait plus lieu qu'au moment où la vitesse du mélange serait suffisamment ralentie pour correspondre à cette dernière vitesse. Dans ce cas, la flamme est plus longue, moins chaude et peut se trouver trop rapprochée des parois du four ou de la chaudière.

En somme, dans le cas du charbon pulvérisé, comme dans celui du gaz ou de l'huile, on peut faire varier la longueur de la flamme en modifiant les vitesses du charbon et de l'air de combustion, faire varier sa forme et son volume en modifiant le nombre et le calibre des brûleurs, et par ces moyens utiliser la chaleur de combustion dans les meilleures conditions possibles.

Des expériences faites sur des fours à réverbère ont bien, en effet, montré que le rendement peut être augmenté dans une forte proportion (parfois de 50 p. 100) par le simple remplacement des brûleurs utilisés, par un nombre plus grand de brûleurs plus petits, permettant d'obtenir des flammes plus courtes et plus chaudes; la température des gaz de la combustion se maintient plus élevée, ce qui réduit d'autant le temps de chauffe et augmente, par conséquent, le rendement du four (1).

Si l'on en croit les partisans du nouveau procédé, il est des fours pour lesquels l'utilisation meilleure de la chaleur de combustion, résultant de l'emploi du charbon pulvérisé, porterait l'économie à 25 ou même à 30 p. 100.

Toutefois, ce qui précède suppose que la haute température du foyer, dans la partie où se développe la flamme, soit directement utilisable et n'ait que des avantages pour le chauffage que l'on a en vue. C'est le cas des fours dont nous venons de parler en dernier lieu. Ce n'est pas le cas de tous les appareils. En particulier, lorsqu'il s'agit du chauffage d'une chaudière à vapeur, il est essentiel de n'amener au contact des parois métalliques, constituant la surface de chauffe, que des gaz ou fumées ayant une température des plus modérées, bien inférieures à la température de la flamme qui correspondrait à la combustion théorique. Pour la plupart des types de chaudières, il est donc nécessaire de donner au foyer des dispositions et dimensions spéciales et, au besoin, de faire précéder le foyer proprement dit d'un avant-foyer, de manière que la flamme se développe et que la combustion s'achève, pendant que les produits gazeux sont exclusivement contenus entre des parois réfractaires.

Ce ne sont que des gaz éteints que l'on peut, sans aucun dommage pour le rendement, amener au contact direct de la surface de chauffe, surtout si celle-ci est tubulaire; une flamme pénétrant dans des tubes à fumée y subit par l'effet du refroidissement une extinction rapide, d'où perte par combustion incomplète et dépôt de suie dans les tubes.

Cette nécessité de foyers spécialement disposés ou d'avant-foyers additionnels n'est pas sans entraîner, dans la plupart des installations de chaudières, quelques pertes de chaleur provenant de l'extension donnée à la surface de refroidissement extérieur.

(1) C'est ce même fait qui explique l'intérêt de l'emploi du mazout pour chauffer les fours d'estampage, malgré le prix relativement très élevé de ce combustible.

Parfois aussi, dans les appareils de cette classe, on est amené à admettre systématiquement un excès d'air comburant assez sensible, soit pour éviter l'effet plus fâcheux d'une combustion incomplète, soit pour abaisser volontairement la température des gaz de la combustion.

d) *Résultats.* — Si nous réunissons ensemble les chiffres indiqués ci-dessus aux paragraphes *a*, *b*, *c*, nous dirons en somme que, comparé aux meilleurs modes d'emploi existant couramment à l'heure actuelle :

1° Le chauffage au charbon pulvérisé des chaudières augmente leur rendement de 4,5 p. 100 à 11,5 p. 100 s'il s'agit de chaudières sans économiseurs, ou de 3,5 à 6,5 p. 100 si elles sont suivies d'économiseurs (on suppose, dans les deux cas, que les surfaces de chauffe sont maintenues propres).

2° Le chauffage au charbon pulvérisé des fours augmente en général leur rendement de 5,5 p. 100 à 10,5 p. 100 ou de 6,5 p. 100 à 13,5 p. 100 suivant que les fumées sont évacuées respectivement à 600° ou à 1.000°.

Dans certains cas, lorsqu'il s'agit de fours, la meilleure utilisation de la flamme s'ajoutant aux avantages précédents permet de porter l'économie à 30 p. 100, sinon même davantage.

Nous ne croyons pas inutile de faire remarquer, que les chiffres d'économie indiqués dans tous les documents américains sont beaucoup plus élevés.

La plupart des constructeurs garantissent les économies nettes suivantes :

20 p. 100 pour les chaudières sans économiseurs ;

15 p. 100 pour les chaudières avec économiseurs ;

30 p. 100 pour les fours.

Les chiffres donnés par les usagers sont encore plus élevés.

Remarques. — On peut objecter que, bien que la combustion du charbon pulvérisé soit satisfaisante aux divers points de vue que nous venons d'indiquer, le rendement calorifique n'est peut-être pas pour cela supérieur à celui des combustibles liquides ou gazeux.

Pour les combustibles liquides, le rendement est en vérité à peu près analogue; l'emploi du charbon pulvérisé a toutefois l'avantage d'être plus économique, en raison du prix élevé des combustibles liquides.

En ce qui concerne les combustibles gazeux, la différence semble plus nette en faveur du charbon pulvérisé, du moins lorsque le gaz doit être fabriqué *ad hoc*. Le charbon pulvérisé permet, en effet, de mieux utiliser le pouvoir calorifique du combustible, en évitant les pertes inévitables de la gazéification qui ne sont jamais inférieures à 20 p. 100 et qui dépassent souvent ce chiffre lorsque les gazogènes ne sont pas alimentés avec des charbons qui leur conviennent.

Il n'est pas inutile, pour justifier cette observation, de rappeler quelques-unes des propriétés des gazogènes.

Les gazogènes ne peuvent fonctionner convenablement avec des charbons très cendreux ; en particulier il est à peu près impossible de brûler des menus maigres ou contenant une grande quantité de poussières, si on ne les mélange pas avec 30 ou 50 p. 100 de charbon gras.

Les gazogènes pour charbons maigres ne peuvent utiliser les charbons gras.

Les gazogènes pour charbons gras, alimentés au charbon maigre, donnent un gaz peu riche et il est souvent impossible avec ce gaz de houille maigre d'obtenir dans les fours prévus pour marcher au gaz de houille grasse, la température requise.

Ces propriétés montrent nettement, que les gazogènes se prêtent mal à l'emploi de qualités variables de combustible et donnent avec des qualités, qui ne leur conviennent pas, des pertes à la gazéification considérables.

Le mauvais fonctionnement des gazogènes, avec des charbons quelconques, est d'ailleurs

l'une des principales raisons des difficultés sérieuses rencontrées actuellement dans beaucoup d'usines.

Le charbon pulvérisé a, d'autre part, en principe, sur la gazéification l'avantage suivant, qui, dans le cas de certains fours, peut être notable :

La gazéification réalise la combustion du charbon en deux temps; pour cette raison, même si cette combustion est complète, la température des gaz de la combustion finale est plus basse que celle des gaz de la combustion unique; on s'éloigne donc, dans le laboratoire du four, de la température théorique de combustion du carbone; par suite, l'utilisation de la chaleur a chance d'être moins bonne et, à moins d'avoir des récupérateurs, ou des régénérateurs, l'obtention des hautes températures pourra devenir impossible.

De plus, la combustion en deux temps laisse échapper certains éléments combustibles du charbon, les goudrons par exemple, qui ne sont pas toujours convenablement récupérés.

Dans le cas du charbon pulvérisé, au contraire, la combustion, qui se fait en un temps, peut s'effectuer à une température plus rapprochée de la température théorique de combustion du carbone.

En particulier, pour certains fours fonctionnant à basse température finale, dans des conditions telles que la récupération ne compenserait pas les pertes par gazéification, le chauffage au charbon pulvérisé même sans récupération pourra procurer une économie.

B. Constance du rendement quel que soit le charbon. — Il résulte de l'examen de comptes rendus d'essais effectués en Amérique, tant sur des chaudières à tubes d'eau que sur des fours, avec des charbons de qualité très différente et exigeant pour donner les mêmes résultats des débits différents des brûleurs, que le rendement calorifique de ces appareils reste à peu près constant malgré la diversité des charbons successivement utilisés.

C. Simplification possible du matériel des foyers. — Comparés aux foyers à grilles mécaniques ou à certains foyers soufflés, les foyers munis de brûleurs à charbon pulvérisé sont relativement simples. Mais cette simplicité n'existe qu'en ce qui concerne le foyer lui-même. Si l'on considère l'ensemble du système, elle est compensée par la nécessité d'un matériel compliqué pour la préparation, la pulvérisation et le transport du charbon.

D. Souplesse de fonctionnement. — Le chauffage au charbon pulvérisé comporte (comme le chauffage au gaz et au mazout) une grande souplesse de la combustion et par cela même permet des changements d'allure très rapides, soit à la mise en route, soit pendant le fonctionnement, soit aux arrêts.

Sans doute, pour chauffer un four froid et l'amener à sa température de régime, il faut un temps qui dépend en grande partie de la capacité calorifique du four et de son contenu ; de même le temps nécessaire à la mise en pression d'une chaudière à vapeur est principalement fonction de la quantité d'eau contenue et du timbre de la chaudière. Cependant le délai nécessaire à l'allumage et à la mise en régime du foyer influe aussi sur ces temps. Or, ce délai est réduit au minimum avec les brûleurs comme ceux qui utilisent le charbon pulvérisé. De là une économie de temps et de combustible, notamment parce qu'il n'est plus nécessaire d'entretenir les foyers en activité pendant certaines périodes où les appareils ne sont pas utilisés et où, avec les autres systèmes de chauffage, on conserverait des feux plus ou moins ralentis.

Dans les grandes centrales électriques, il faut pour parer aux pointes, avoir rapidement une grande allure de vaporisation, que l'élasticité de la chauffe au charbon pulvérisé peut donner facilement, tout en laissant constant le nombre des unités en service. On peut, en effet, à la condition que l'allure en marche courante soit assez modérée pour que

la pointe ne fatigue pas les chaudières, pousser la vaporisation jusqu'à 150 p. 100 ou même plus de la consommation habituelle de vapeur, sans diminuer notablement le rendement calorifique. Bien entendu il ne faudrait pas profiter de cette facilité pour pousser la vaporisation au delà de ce que les chaudières peuvent supporter sans surmenage; c'est d'après la production maximum, correspondant à la pointe, que doit être calculée l'installation, et que doit être réglé le nombre des chaudières en fonctionnement.

Dans un autre ordre d'idées, le charbon pulvérisé permet de maintenir la constance de marche avec des charbons de qualités très différentes. C'est une simple question de réglage du débit des brûleurs d'après la qualité du charbon, ainsi que de la quantité d'air nécessaire à la combustion. Cette constance est plus difficile à réaliser dans le cas des grilles mécaniques et des gazogènes.

Enfin il semble que le charbon pulvérisé puisse permettre, comme le chauffage au gaz, quoique à un moindre degré, d'obtenir une marche à volonté oxydante, réductrice ou neutre, qui convient à la bonne élaboration des produits, dans certains fours. C'est ainsi que, dans un four à réchauffer les billettes, on réduira au minimum l'oxydation superficielle de l'acier; dans un four à recuire, on placera les caisses dans de bonnes conditions de conservation, etc.

E. Économie de main-d'œuvre. — Parmi les avantages invoqués en faveur du charbon pulvérisé figure la réduction de la main-d'œuvre, en quantité et surtout en qualité, par rapport à ce qu'exige la conduite des foyers ordinaires chargés à la main.

Toutes les manipulations sont, en effet, effectuées mécaniquement depuis l'arrivée du charbon jusqu'aux foyers. Il est vrai que le même résultat est obtenu dans certaines installations de foyers mécaniques.

La conduite des foyers est d'autre part notablement simplifiée avec le charbon pulvérisé, en ce sens qu'il n'est plus nécessaire de faire appel à une main-d'œuvre aussi expérimentée.

On sait combien, dans le cas des chaudières à vapeur avec foyers chargés à la main, l'expérience et le zèle des chauffeurs influent sur le rendement (concours de Liége 1905, etc.).

Les foyers des fours sont plus difficiles à gouverner que ceux des chaudières; la nécessité d'obtenir dans le four les températures favorables à l'élaboration des produits, fait qu'on est généralement obligé d'employer pour la conduite des fours des ouvriers chauffeurs plus habiles et plus soigneux que pour la production de la vapeur.

La conduite des gazogènes, surtout lorsqu'ils sont alimentés avec des houilles cendreuses, est encore plus délicate que celle des fours. Aussi, le recrutement ou la formation des gaziers est très difficile actuellement et certaines usines renoncent, faute de personnel expérimenté, à se servir de gazogènes.

Il convient cependant d'ajouter qu'avec les gazogènes modernes cette main-d'œuvre spécialisée est considérablement réduite, et qu'avec les derniers types, les frais de main-d'œuvre ne sont peut-être pas plus importants qu'avec le chauffage au charbon pulvérisé.

D'autre part la centrale de pulvérisation exige un personnel supplémentaire.

Tout compte fait, il semble cependant, d'après les documents américains, que l'avantage reste plutôt au charbon pulvérisé.

2° **Emploi de combustibles inférieurs.** — L'emploi de certains combustibles inférieurs (charbons schisteux, mauvais lignites, etc.) est parfois presque impossible sur des grilles ordinaires ou dans des gazogènes.

Il en est de même des poussiers provenant des manutentions de coke ou récupérés des escarbilles, que l'on trouve actuellement en quantité notable dans certaines usines, et qu'il serait nécessaire d'utiliser, pour tirer des combustibles dont on dispose, tout le parti possible.

On ne peut guère actuellement utiliser ces produits, qu'en mélange avec des charbons de meilleure qualité, ou en les agglomérant pour faire des briquettes.

On peut également recourir aux grilles soufflées. Les grilles soufflées ont un bon rendement et nous en connaissons qui, bien conduites, donnent des fumées à 12 p. 100 d'anhydride carbonique en marche courante; mais elles ne peuvent s'adapter qu'aux chaudières, et exceptionnellement aux fours, alors que beaucoup d'usines n'ont que des fours chauffés au coke et ne peuvent, par conséquent, utiliser convenablement la grande quantité de poussier dont elles disposent.

En ce qui concerne les briquettes et les boulets, leur fabrication augmente sensiblement le prix du combustible.

Or, les différents combustibles très pauvres, mentionnés précédemment pourront, dans la plupart des cas, être employés sous forme pulvérisée.

Si, en effet, on réduit en poudre un cube de charbon compact, de 1 cm de côté de façon que la poudre obtenue passe au tamis de 200 (200 mailles au pouce linéaire), la surface d'exposition à l'air devient 6.000 fois plus grande, de telle sorte que la faible quantité de matière combustible, que chaque particule peut contenir, se trouvera suffisamment en contact avec l'air qui l'entoure, pour entrer en combustion.

Avec une pulvérisation suffisante et avec une chambre de combustion bien appropriée, on doit pouvoir arriver à brûler à peu près tous les combustibles solides, quelle que soit leur teneur en cendres ou leur pauvreté en matières volatiles.

En fait, avec les appareils dont on dispose actuellement, on peut brûler sous forme pulvérisée : les charbons maigres et cendreux, les fines d'anthracite, le coke, les poussiers de coke, la plupart des lignites, certaines tourbes en mélange avec du charbon.

Évidemment les difficultés rencontrées dans l'emploi de ces combustibles, sont d'autant plus grandes que la teneur en cendres est plus élevée, et que l'état physique comporte des caractéristiques plus désavantageuses (humidité, dureté, etc.). Aussi est-il plus commode, dans bien des cas, d'effectuer des mélanges de combustibles. Pour faciliter par exemple la combustion de certains charbons maigres, on les mélange avec des charbons gras; pour atténuer les inconvénients présentés par les cendres, on additionne parfois les combustibles pauvres de combustibles riches.

L'anthracite et les charbons maigres, même très cendreux, d'après des rapports dignes de foi, sont utilisés couramment sous forme pulvérisée en Amérique, avec ou sans addition de charbons gras, selon la teneur en matières volatiles et selon les foyers.

Il a été signalé par exemple en 1917, à la réunion du comité de l'International railway fuel association, que pendant deux ans, une mine a brûlé avec succès des résidus d'anthracite de Pensylvanie ayant 24 p. 100 de cendres et 6 p. 100 seulement de matières volatiles.

On a pu utiliser, avec succès, dans une autre installation, des fines d'anthracite draguées dans un fleuve (la Susquehanna de Philadelphie) et ne contenant que 4 p. 100 de matières volatiles avec 24 p. 100 de cendres.

En France, des essais encourageants ont été tentés avec des anthracites des Alpes contenant 30 et même 35 p. 100 de cendres.

Le coke et les poussiers de coke, seuls ou additionnés d'un combustible riche en matières volatiles tel que la houille grasse ou le brai, ont été utilisés avec succès en Amérique, mais plutôt exceptionnellement. Ils présentent, en effet, l'inconvénient d'user assez rapidement les appareils de pulvérisation (durée réduite au moins de moitié) qui n'ont pas été, jusqu'ici, spécialement construits pour résister à leur action abrasive.

Néanmoins, on est parvenu, paraît-il, à utiliser, sous forme pulvérisée, des poussiers de coke à 51 p. 100 de cendres.

Pour les lignites, l'emploi sous forme pulvérisée est particulièrement indiqué, à cause de leur forte teneur en matières volatiles et aussi de leur état généralement pulvérulent, qui les rend parfois impropres à la combustion sur la grille.

Le broyage en est extrêmement facile, mais le séchage est lent, à cause de la ténacité avec laquelle ils retiennent l'humidité.

C'est ainsi que certains lignites laissés à l'air et contenant 46 p. 100 d'eau ont dû être repassés deux fois au sécheur pour obtenir un produit contenant encore 10 p. 100 d'eau, mais pouvant cependant être broyé et utilisé convenablement sous des chaudières.

De nombreuses installations américaines brûlent des lignites pulvérisés. En France, quelques installations, qui ne sont pas toutes au point, fonctionnent déjà au lignite pulvérisé.

Certaines tourbes en mélange avec d'autres combustibles plus riches peuvent être également brûlées après pulvérisation; toutefois comme pour les lignites et à un degré plus élevé encore, le séchage peut être très difficile et par suite très coûteux. Avec certaines tourbes, il peut être même impossible.

Des locomotives, chauffées à la tourbe additionnée de charbon gras, ont été signalées comme en service sur les chemins de fer suédois.

Nous donnons ci-dessous les caractéristiques de quelques combustibles défectueux typiques, employés aux États-Unis (1).

NATURE DU CHARBON	MATIÈRES VOLATILES	CENDRES	SOUFRE	POUVOIR CALORIFIQUE
Gras, cendreux et sulfureux.	32,41	18,02	5,14	6.688
— —	28,40	21,90	4,70	6.382
Gras et cendreux	28	33,70	»	4.995
Demi-gras.	15,39	10,57	0,90	7.742
Semi-anthracite	9,50	29,98	0,1	5.648
Anthracite.	6,34	27,96	»	5.827
Anthracite de rivière.	8,75	16,92	»	6.957
Fines d'anthracite de rivière.	4	25	»	»
Poussiers de coke	4,72	51,48	»	3.798
Lignite du Texas	40,55	17,06	1,97	»
— —	38	8,5	0,53	5.870
Lignite	33	12	1,30	5.660
Tourbe	45,67	12,21	0,93	6.965

3° **Applications diverses de l'emploi du charbon pulvérisé.** — Il résulte déjà des explications qui précèdent, que le charbon pulvérisé peut être employé dans la plupart des chauffages industriels et principalement pour le chauffage soit des fours, soit des générateurs de vapeur.

Afin de préciser cette constatation, nous allons indiquer successivement, pour chacune de ces deux catégories d'application, ce qui caractérise l'emploi du procédé.

A. Fours. — D'une façon générale, le combustible pulvérisé est appliqué pratiquement avec succès dans les fours de métallurgie et autres, pourvu que les produits à élaborer ne soient pas susceptibles d'entrer en combinaison avec des cendres plus ou moins fusibles.

Contrairement à ce que l'on croit parfois, les cendres ne créent plus actuellement de difficultés prohibitives. Certaines précautions sont seulement nécessaires. C'est ainsi que les fours doivent comporter une chambre de combustion de capacité suffisante et, autant que possible, spacieuse en tous sens. On admet généralement, pour des fours dont la consommation est de l'ordre de grandeur de 500 kg de charbon à l'heure, que la chambre.

(1) Nous n'avons pas à parler ici d'un nouveau mode d'emploi du charbon pulvérisé, qui consiste à l'incorporer avec une huile combustible dans une proportion pouvant varier de 30 à 65 p. 100, pour obtenir un combustible visqueux ou semi-fluide, dit colloïdal.

de combustion doit avoir une capacité d'au moins 6 ou 7 dcm³ par kilogramme de charbon brûlé à l'heure, soit de 3 m³ à 3,5 m³ pour 500 kg.

Dans les fours métallurgiques bien réglés, 60 à 70 p. 100 des cendres se déposent à peu près fondues dans les chambres de combustion, 10 p. 100 au plus sur le métal en travail, et 20 ou 30 p. 100 s'échappent dans les fumées dans un état de finesse extrême, à la condition toutefois que le combustible ne soit pas trop cendreux. Il est préférable avec la plupart de ces fours, d'employer des charbons assez riches en matières volatiles (30 p. 100) et relativement peu cendreux.

Toutefois, il est nécessaire de faciliter l'évacuation des cendres en évitant les coudes et les saillies, et en installant des poches à cendres; il faut effectuer le nettoyage et le soufflage fréquent des carneaux et des conduits de fumées. Dans ces conditions les récupérateurs paraissent difficilement employables et les régénérateurs ne semblent pas devoir être conseillés du moins actuellement.

C'est pourquoi les essais effectués, dans le cas des fours basiques pour acier Martin, demandent des précautions toutes spéciales, en raison des difficultés rencontrées. Les empilages devraient être très écartés, une chambre de combustion de grandes dimensions serait nécessaire; la flamme devrait être volumineuse et très chaude. En outre, pour ces fours, la teneur du charbon en matières volatiles devrait être aussi élevée que possible (au minimum 35 p. 100), les cendres peu abondantes (au maximum 8 p. 100), la teneur en soufre faible (au maximum 1,25 p. 100). Le charbon devrait être broyé aussi fin que possible (25 p. 100 seulement de refus au tamis de 300).

Avec ces précautions, les Américains, qui, seuls, ont appliqué le procédé au four basique Martin (1) prétendent que la combustion est instantanée, que le soufre du charbon disparaît en se transformant en gaz sulfureux, avant d'arriver au contact du bain de métal, et que les cendres excessivement fines restent en suspension dans les fumées et s'échappent à la cheminée.

Somme toute, à l'heure actuelle, le chauffage au charbon pulvérisé peut être considéré comme d'application courante, pour les fours à ciment et à chaux, les fours à griller les minerais, les fours à puddler, les grands fours de forge à recuire et à réchauffer, les fours à réverbère pour la fusion du cuivre, de la fonte, etc., les fours Pits, les bains d'estampage ou de galvanisation, enfin pour le chauffage des mélangeurs des aciéries.

Il est encore à l'essai pour les petits fours de forge, les fours à réchauffer les rivets, les fours à fondre le spiégel et les ferro-manganèses, et enfin les fours Martin.

B. GÉNÉRATEURS DE VAPEUR. — L'application du charbon pulvérisé au chauffage des générateurs de vapeur, ne s'est pas développée aussi rapidement que pour les fours et surtout pour les fours métallurgiques.

La substitution présentait moins d'intérêt, car l'augmentation de rendement est moins sensible; en outre, dans les premiers essais relatifs au chauffage des chaudières, le fonctionnement était souvent arrêté au bout de quelques heures, par l'engorgement des carneaux.

Cependant, depuis quelque temps, les prix élevés des combustibles, la raréfaction de la main-d'œuvre, et enfin la possibilité d'éviter, par des précautions spéciales, les inconvénients dus aux cendres, ont déterminé le développement du procédé pour les chaudières, surtout dans le cas des centrales électriques.

Un point extrêmement important, pour assurer le succès du chauffage au charbon pulvérisé, lorsqu'il s'agit de générateurs de vapeur, est la disposition des chambres de combustion. Elles doivent être de très grandes dimensions pour permettre à la combustion de s'effectuer complètement avant que les flammes subissent le contact refroidissant des surfaces de chauffe. D'après les Américains, le rapport de la quantité du charbon brûlé

(1) L'installation de fours basiques Martin, de la National Malleable Castings C°, de Sharont (Pensylvanie), d'après les ingénieurs français qui l'ont visitée, donnerait notamment satisfaction.

par seconde aux dimensions de la chambre doit être tel que la vitesse des gaz de la combustion soit inférieure à 2 m à la seconde. Cette limite conduirait à des chambres de combustion, supposées cubiques, ayant au moins 3,3 dm³ par kilogramme de vapeur produite à l'heure, ou environ 30 dm³ par kilogramme de charbon brûlé à l'heure, c'est-à-dire quatre fois plus importantes que dans le cas des fours. En pratique les chambres de combustion dépassent parfois même ces dimensions, notamment dans le cas où, comme nous le verrons plus loin, on cherche à éliminer les cendres plutôt par voie de fusion. Elles sont souvent réalisées par l'adjonction aux foyers existants d'avant-chambres complémentaires.

C'est ainsi qu'à la station d'Oneida Street de la Milwaukae Electric Railway and Light C° (Wisconsin), que nous avons citée précédemment, les chaudières transformées pour le chauffage au charbon pulvérisé ont une chambre totale de combustion d'une capacité de 5,4 dcm³ par kilogramme de vapeur à l'heure, réalisée par l'adjonction d'une avant-chambre de combustion complémentaire de 2,5 dcm³, par kilogramme de vapeur à l'heure.

Un deuxième point extrêmement important pour les chaudières est l'élimination des cendres. D'une façon générale on s'efforce de provoquer le dépôt des cendres dans l'avant-chambre ou dans la partie antérieure de la chambre de combustion.

Si les cendres sont relativement fusibles, on cherchera de préférence, à obtenir leur élimination par voie de fusion. On s'efforcera, à cet effet, de réaliser une température de régime aussi élevée que possible, au moyen d'une faible vitesse d'arrivée du mélange combustible et d'un bon réglage de la flamme. Dans ces conditions, 85 p. 100 des cendres pourront se déposer à l'état de scories fondues à la base de la chambre de combustion, dont les dimensions dans ce cas sont particulièrement importantes ; le reste, 15 p. 100 environ, pourra demeurer en suspension dans les fumées à l'état de poussière impalpable et s'échapper par la cheminée dans l'atmosphère.

Si au contraire les cendres sont très peu fusibles, on cherchera à obtenir leur dépôt, plutôt à l'état pulvérulent, en évitant le plus possible leur scorification. Dans ce but, on abaissera même la température de régime, par l'intermédiaire d'un léger excès d'air; la température pourra être ainsi abaissée de 1.650° à 1.400°. Dans ces conditions, 15 à 20 p. 100 seulement des cendres se déposeront dans la chambre de combustion, dont moitié environ à l'état fondu et moitié sous forme pulvérulente plus ou moins granuleuse; 80 à 85 p. 100, restées à l'état de poussière impalpable, s'échapperont par la cheminée.

Dans tous les cas, il est nécessaire d'établir des souffleurs de suie à demeure dans les faisceaux tubulaires et de faire des ramonages d'autant plus fréquents qu'il y a plus de cendres entraînées par les fumées.

Moyennant ces diverses précautions, on peut utiliser pour le chauffage des chaudières, ainsi que nous l'avons déjà indiqué, des charbons de qualités très diverses. C'est ainsi qu'on a pu même brûler seuls des poussiers d'anthracite contenant 2,5 p. 100 de matières volatiles, 20 à 30 p. 100 de cendres et ayant un pouvoir calorifique de 5.300 calories.

Pour la production de la puissance motrice, au lieu de brûler le charbon pulvérisé sous des chaudières, et de passer ainsi par l'intermédiaire de la vapeur, il serait assurément plus économique, théoriquement parlant, de pouvoir employer directement le charbon pulvérisé comme combustible dans des moteurs à combustion interne. On se rappelle qu'à l'origine de ses travaux, Diesel espérait parvenir à injecter dans la culasse de ses moteurs, non seulement toute espèce de combustible liquide, mais même des combustibles solides en fine poussière. Divers obstacles, notamment l'encrassement des appareils, s'y sont opposés; nous n'insisterons donc pas sur ce genre d'application.

V. — Inconvénients du charbon pulvérisé.

Les inconvénients du charbon pulvérisé sont de trois ordres différents : inconvénients d'ordre technique, dangers possibles d'explosion ou d'accident, prix très élevé des installations.

Nous allons passer en revue ces différents points, en cherchant à discerner quelle est la valeur à attacher à chacun d'eux.

1° **Inconvénients d'ordre technique.** — Les inconvénients techniques sont les suivants :

A. Difficultés occasionnées par l'accumulation des cendres et des scories;

B. Rapide détérioration des parois des foyers;

C. Absence de contrôle de la flamme et de la température dans le foyer.

A. Difficultés occasionnées par les cendres et les scories. — La principale objection faite à l'emploi du chauffage au charbon pulvérisé, consiste en ce que les cendres, peuvent recouvrir les surfaces de chauffe des chaudières, encombrer les fours, les régénérateurs, les carneaux et parfois, dans le cas des fours, modifier fâcheusement la composition des matières en élaboration.

La gravité de ces inconvénients varie beaucoup avec la nature des cendres.

L'origine des ennuis très réels mentionnés, provient en partie de ce que, devant les résultats excellents donnés depuis plus de vingt ans, par l'emploi du charbon pulvérisé dans les fours à ciment, on avait copié tout d'abord trop exactement, pour les fours métallurgiques et pour les chaudières, les installations précédentes, dans lesquelles la combustion s'effectue cependant dans des conditions complètement différentes.

Dans les fours à ciment, en effet, qui ont de 30 à 50 mètres de longueur, la combustion peut toujours s'effectuer (plus ou moins loin il est vrai) quelles que soient les caractéristiques du charbon (plus ou moins de cendres et plus ou moins de matières volatiles) et quelles que soient ses conditions d'arrivée (vitesse et pression).

En même temps les cendres peuvent disparaître soit dans les blinkers, soit avec le ciment.

Ces conditions sont telles que dans tous les cas, la marche est toujours acceptable.

Il n'en est de même, ni pour les fours métallurgiques, ni surtout pour les chaudières. Dans le cas de ces dernières, en particulier, le foyer toujours relativement petit est immédiatement suivi de tubes ou de carneaux où les cendres s'amassent facilement, soit à l'état pulvérulent, soit sous forme de scories fondues.

Les inconvénients rencontrés provenaient donc, surtout, d'une appropriation défectueuse ou incomplète des foyers ne comportant pas, notamment, de chambres de combustion suffisantes.

Ces inconvénients ont été très atténués, par les perfectionnements apportés aux procédés et installations.

Résumons brièvement ces principaux perfectionnements :

a) Réduction de la vitesse du mélange combustible à la sortie du brûleur, soit par une moindre pression de soufflage de l'air, soit par une augmentation de la section terminale du brûleur, soit enfin par une orientation convenable du brûleur, qui peut au besoin, dans certains foyers, être dirigé en sens inverse du tirage ;

b) Augmentation de la chambre de combustion ou addition d'une avant-chambre;

c) Dispositions particulières données aux brûleurs et aux chambres de combustion par rapport aux fours et aux chaudières pour provoquer la précipitation des cendres;

d) Absence de coudes et de saillies dans les chambres de combustion, les carneaux, les conduits de fumées, pour faciliter l'écoulement et l'évacuation des cendres.

Les inconvénients varient beaucoup, comme gravité avec la qualité des charbons

utilisés. Leur influence sur la nature du travail étant très variable selon l'application envisagée, il convient d'employer, pour chaque catégorie d'appareils, les combustibles dont les caractéristiques, d'après l'expérience actuellement acquise, ne prêtent à ces inconvénients que dans la moindre mesure possible.

Pour les fours métallurgiques en général, on a intérêt à choisir des charbons ayant au moins 30 p. 100 de matières volatiles. Pour ceux de ces fours qui posséderaient des régénérateurs, il serait nécessaire en outre d'avoir des charbons n'ayant pas une trop grande teneur en cendres.

Pour les fours à réchauffer, les fours continus, les fours à recuire, etc., on peut employer des charbons même relativement cendreux, à la condition que les cendres ne soient pas fusibles et ne forment pas, avec le laitier ou sur les billettes, une couche solidifiée nécessitant un décrassage pénible.

Des charbons à cendres relativement fusibles et donnant des scories pâteuses difficiles à évacuer, sont, en général, d'un emploi peu commode.

Par contre, les charbons à cendres extrêmement fusibles pourront permettre une évacuation facile de ces cendres, sous forme liquide, par un trou de coulée et, par suite, seront commodes à employer.

Pour les chaudières enfin, à la condition d'avoir une chambre de combustion suffisante et un réglage de la combustion bien en rapport avec la nature du combustible, assurant, soit le dépôt des scories à l'état de fusion dans la chambre même, soit l'entraînement des cendres infusibles par les fumées, on peut arriver à utiliser dans des conditions acceptables, toute l'échelle des combustibles dont nous avons parlé plus haut, jusqu'à une très faible teneur en matières volatiles ou une très forte teneur en cendres.

Il pourra même être indiqué, dans certains cas, d'employer de préférence un charbon maigre et cendreux, dont le prix sera considérablement inférieur à celui d'un charbon à haute teneur en matières volatiles et faible teneur en cendres.

L'état sous lequel se dépose la cendre dépend de son point de fusion; pour favoriser le dépôt il convient, dans certains cas, de rechercher des charbons à cendres fusibles. Ainsi, un charbon à 20 p. 100 de cendres fusibles pourra être éventuellement préféré à un charbon à 10 p. 100 de cendres réfractaires.

Inversement on pourra être conduit à rechercher des charbons à cendres complètement infusibles qui peuvent, comme nous l'avons vu, donner de bons résultats, à la condition d'éviter toute trace de scorification par l'admission d'un excès d'air, de manière que les cendres soient, autant que possible, entrainées sous forme de poussière avec les fumées.

Pour les fours non munis de récupérateurs et de régénérateurs, les cendres ne présentent pas, en général, d'inconvénients sérieux. On n'est guère alors limité, dans le choix du charbon, que par la nécessité d'éviter dans tous les cas d'altérer les produits à élaborer.

Enfin il y a, comme nous l'avons déjà dit, une réserve à faire en ce qui touche les fours à récupération. A moins de précautions particulières, les cendres peuvent provoquer des troubles assez sérieux dans la marche des régénérateurs et ne permettent pas encore l'emploi de récupérateurs.

B. Rapide détérioration des parois des foyers. — Cet inconvénient, qui a créé de grandes difficultés durant la période des essais de chauffage au charbon pulvérisé, avait en partie la même origine que le précédent : copie trop exacte des dispositions des fours à ciment employés avec succès auparavant.

Comme nous l'avons indiqué plus haut, la zone de combustion, dans les fours à ciment, n'est pas limitée à une partie déterminée du four; au lieu de se trouver localisée près de l'entrée, elle est, par suite de la grande vitesse d'arrivée du mélange combustible, rejetée plus ou moins loin dans l'intérieur du four.

Cette disposition, appliquée sans modification aux fours de métallurgie et aux foyers de chaudières, fut la cause de détériorations rapides des foyers, dont les briques fondaient sous l'action de la chaleur. Mais actuellement, avec la facilité de réglage de la flamme, qui permet de lui donner un développement bien en rapport avec les dimensions du four ou de la chambre de combustion, les détériorations sont beaucoup moins rapides. En particulier, le léger excès d'air admis dans la chambre de combustion pour éviter la scorification des cendres, excès qui s'obtient généralement au moyen d'une série d'ouvertures pratiquées dans les parois de cette chambre, protège ces parois contre la flamme très chaude et évite leur fusion.

C. Absence du contrôle de la flamme et de la température dans le foyer. — Cet inconvénient est lié au précédent. Son importance diminue à mesure que les appareils se perfectionnent.

2° **Dangers d'explosion et d'accidents.** — L'emploi du charbon pulvérisé comporte un danger qu'on ne peut nier : les poussières de houille en suspension dans un courant d'air constituent un mélange explosif.

Le mélange de 112 g de carbone avec 1 m^3 d'air (ou de 1 kg de charbon avec 11,6 kg d'air) correspond à la combustion parfaite.

Si les lois applicables aux mélanges gazeux pouvaient être étendues aux nuages poussiéreux, un nuage tenant, par mètre cube d'air, plus de 112 g de carbone brûlerait moins facilement qu'un nuage à 112 g. Mais l'extension n'est pas légitime : les études de M. Taffanel ont montré qu'au-dessus de 112 g par mètre cube d'air, l'aptitude d'un nuage poussiéreux à la propagation croît avec la densité du mélange, au moins jusqu'à 500 ou 600 g par mètre cube. Au-dessus de cette valeur l'aptitude paraît demeurer sensiblement constante. En poussant la densité jusqu'à 1.500 g par mètre cube on n'a pas réussi à déceler une limite supérieure d'inflammabilité.

Toutes les conduites, tous les appareils contenant un mélange d'air et de charbon pulvérisé présentent donc un danger certain. En particulier si, pour une raison quelconque (arrêt d'un ventilateur ou d'un broyeur, modification momentanée et fortuite de la composition du poussier) la flamme d'un brûleur s'éteint, le poussier que ce brûleur continue à souffler dans la chambre de combustion distille; les matières volatiles ainsi dégagées forment, avec l'air, un mélange inflammable, qui peut exploser au contact d'une région chaude. Des accidents se sont produits de cette façon.

D'autres accidents ont eu pour cause une combustion spontanée dans les trémies ou l'élévation de température du charbon dans les broyeurs, ou encore un défaut d'étanchéité des conduites et appareils, joint au voisinage fortuit d'une flamme ou d'une étincelle.

De grandes précautions sont donc nécessaires. Énumérons ci-dessous les principales :

a) Tous les appareils de canalisation doivent être absolument étanches; la moindre fuite qui pourrait apparaître malgré les précautions prises devrait être immédiatement obturée;

b) Toute accumulation de poussière de charbon dans les ateliers doit être soigneusement évitée;

c) Dans les ateliers de pulvérisation ou de manutention, près des réservoirs d'emmagasinement, il ne doit être toléré aucun foyer ni aucune flamme; l'éclairage doit être exclusivement assuré au moyen de lampes électriques à incandescence;

d) Toute source de chaleur dans le voisinage immédiat des canalisations et des trémies doit être soigneusement évitée;

e) Pour éviter la combustion spontanée, on ne doit emmagasiner le combustible pulvérisé que sous un volume restreint et durant peu de temps;

f) Enfin les sécheurs et broyeurs doivent être conçus et disposés de telle sorte que le charbon ne puisse s'y échauffer.

L'emploi du charbon pulvérisé présente donc bien un danger qui lui est propre et qu'on n'a pas à redouter avec les grilles. Mais il est juste d'ajouter qu'en observant les précautions indiquées ci-dessus on est arrivé à diminuer beaucoup le nombre des accidents.

Il paraît résulter des documents américains, que depuis l'origine du charbon pulvérisé en 1896 et pour un nombre d'installations que l'on peut évaluer à près de 300, les accidents survenus ont causé la mort de 20 à 30 hommes; c'est assurément trop, mais on fait remarquer que beaucoup de ces accidents ont eu lieu pendant les périodes d'essais.

Il semble donc que l'on puisse conclure, que si le charbon pulvérisé présente des dangers spéciaux, ces dangers ne sont pas tels qu'ils doivent faire *a priori* écarter son emploi, à la condition de prendre toutes les précautions indiquées par l'expérience.

3° **Prix élevé des installations.** — Une autre objection contre l'emploi du charbon pulvérisé est le prix très élevé, et les frais d'entretien considérables des installations.

Non seulement les dépenses, tant d'établissement que d'entretien, sont grandes en ce qui concerne la centrale de pulvérisation, mais il s'y ajoute les dépenses d'installation et de réparations des transporteurs partant de la centrale, des brûleurs et autres appareils spéciaux d'utilisation. De ce chef, les prévisions financières, qui seraient relatives à la centrale seule, doivent être majorées en général de 40 à 50 p. 100, parfois même de 100 p. 100, lorsqu'il s'agit d'une usine comportant un grand nombre de foyers de faible importance individuelle, ou très éloignés les uns des autres.

Les appareils individuels complets, applicables aux petites installations, semblent à première vue d'un prix plus facilement abordable, mais il faut examiner si la réduction de la dépense première, compense le moindre degré de perfection et de souplesse des appareils.

Ce qu'il importe de savoir, c'est si, pour une installation déterminée, la dépense journalière totale, tenu compte des frais d'amortissement de l'installation et de l'intérêt du capital engagé, est augmentée ou diminuée lorsqu'on emploie le combustible sous forme pulvérisée, au lieu de le brûler sur grille ou en gazogène.

C'est là un problème qu'il est à peu près impossible de traiter d'une manière générale; un examen approfondi est nécessaire pour chaque cas. Les données du problème varient d'ailleurs sans cesse : les prix d'installation, de la main-d'œavre, du charbon se modifient rapidement.

Nous allons, cependant, présenter quelques remarques sur l'ordre de grandeur des dépenses suivantes à faire entrer dans le calcul, savoir :

a) Dépense d'énergie pour la préparation et le transport du charbon;

b) Consommation de combustible au cours de ces opérations;

c) Prix de l'installation;

d) Frais d'entretien;

e) Main-d'œuvre.

a) *Dépense d'énergie pour la préparation et le transport du charbon.* — La dépense de travail mécanique nécessaire pour la préparation du charbon, c'est-à-dire principalement pour son broyage et accessoirement pour les opérations préalables de concassage et de séchage, dépend de l'importance de l'installation, des dispositions des appareils et de la nature du charbon. Cependant, afin de donner une idée de l'ordre de grandeur de cette dépense, voici, à titre d'exemples, quelques chiffres qui peuvent être considérés comme des moyennes approximatives pour des centrales de diverses puissances :

Quant au travail absorbé par le transport du charbon pulvérisé, il varie essentiellement suivant le système de distribution et les distances. Il n'est parfois que de quelques kilowatts-heure par tonne de charbon; on l'estime assez souvent, en moyenne, à 15 kWh; enfin, il peut atteindre dans certains cas un chiffre très élevé, 50 kWh par tonne, par exemple.

IMPORTANCE DE L'INSTALLATION (NOMBRE DE TONNES DE CHARBON A PULVÉRISER PAR HEURE)	TRAVAIL NÉCESSAIRE POUR LE BROYAGE, PAR TONNE DE CHARBON	TRAVAIL NÉCESSAIRE POUR ACTIONNER LE CONCASSEUR ET LE SÉCHEUR, PAR TONNE DE CHARBON
Moins de 2 tonnes.	Plus de 30 kilowatts-heure.	Plus de 6 kilowatts-heure.
2 tonnes	Environ 30 — —	Environ 4 — —
5 —	Environ 15 — —	Environ 2 — —
10 —	Environ 12 — —	Environ 2 — —
20 —	Environ 12 — —	Environ 2 — —

Somme toute, pour l'ensemble de la préparation et du transport, la dépense de travail mécanique peut être estimée dans des circonstances moyennes à environ 30 kWh par tonne de charbon, sauf pour les installations de moins de 5 t à l'heure, qui consomment davantage, et à l'exception aussi de très grosses installations pour lesquelles, rapportée à la tonne de charbon par heure, une puissance mécanique un peu moindre, suffit.

Nous n'avons parlé là, que des centrales. Quant à la pulvérisation au moyen des appareils du type aéro-pulvériseur ou pulvéro-brûleur, elle nécessite une dépense de travail mécanique beaucoup plus élevée rapportée à la tonne de charbon.

b) *Consommation de combustible au cours des opérations précédentes.* — Un peu de combustible est brûlé dans le séchoir pour la préparation du charbon; quelques pertes ont lieu en outre par les poussières.

Il faut compter pour la dessiccation environ 1,5 p. 100 du poids du combustible.

Les pertes par les poussières sortant du séchoir s'élèvent à 1,5 p. 100 au maximum.

c) *Prix d'une installation de chauffage au charbon pulvérisé.* — Ce prix est essentiellement variable, non seulement en fonction de l'importance et de l'emplacement de l'installation, des dispositions des appareils, de l'étendue de la distribution, etc., mais aussi en fonction des cours des matières et, d'une manière générale, des circonstances économiques.

Tout ce que nous pouvons dire à ce sujet est que, vers la fin de 1920, un industriel français qui aurait acheté aux États-Unis les broyeurs et autres appareils (au cours de 16 f le dollar) et aurait équipé son usine pour le chauffage au charbon pulvérisé avec ce matériel d'importation, aurait eu à inscrire, au compte d'établissement, une dépense qui, dans des conditions moyennes, eût été de l'ordre de grandeur des chiffres ronds ci-après :

1° Dans le cas de l'établissement d'une centrale de pulvérisation :

Importance de l'installation. (Nombre de kilogr. de charbon à l'heure.)	Ordre de grandeur du prix.
2.000 kilogrammes	500.000 f
5.000 —	1.000.000 —
10.000 —	1.000,000 —
20.000 —	3.000.000 —

2° Dans le cas de l'installation d'appareils individuels :

Importance de l'installation. (Nombre de kilogr. de charbon à l'heure.)	Ordre de grandeur du prix.
100 kilogrammes.	16.500 f
500 —	40.000 —
1.000 —	65.000 —

d) Frais d'entretien. — Ces frais sont relatifs à l'installation tout entière, depuis le moment où le charbon entre à l'usine, jusqu'à celui où il est brûlé au foyer.

Ils comprennent l'entretien de toute l'installation, y compris la consommation d'huile et de graisse, l'achat des pièces de rechange et le coût de la main-d'œuvre nécessaire aux réparations.

Ils sont très variables avec les systèmes employés et les charbons traités. Dans certaines installations, l'usure est très rapide; dans d'autres, au contraire, l'entretien paraît être peu coûteux, du moins durant les premières années de marche.

Il semble, d'après les renseignements pris auprès des constructeurs et des usagers, que dans une usine à service continu, ces frais puissent être évalués, en moyenne, par an, à 5 p. 100 du montant de la dépense de premier établissement de l'installation.

e) Main-d'œuvre. — L'importance de la main-d'œuvre nécessaire au fonctionnement de l'installation dépend non seulement de la quantité de charbon consommée dans l'unité de temps, mais aussi du nombre des foyers et de leur dispersion.

Nous donnons, ci-après, le nombre d'hommes nécessaires, en moyenne, dans le cas d'une centrale de pulvérisation, pour la conduite des appareils depuis le moment où le charbon est livré sur wagon à l'usine, jusqu'au moment où il est brûlé dans les foyers.

Production de la centrale.	Nombre d'hommes.
—	—
2 tonnes à l'heure	2
5 — —	3
10 — —	4
20 — —	6

Ces nombres comprennent les hommes préposés à la conduite des foyers, à la condition qu'il n'y ait pas de difficulté spéciale pour l'enlèvement des cendres fondues.

On remarque que, d'après ces chiffres, la quantité de charbon traité et brûlé par journée d'ouvrier (journée de 8 heures) est de 8 t dans le cas de la centrale traitant 2 t à l'heure et s'élève à $\frac{20 \times 8}{6}$, soit à 27 t, dans le cas de la centrale traitant 20 t à l'heure.

Prix de revient d'une tonne de charbon au foyer. — Lorsqu'il s'agit, non point d'assurer grâce au procédé de la pulvérisation, l'emploi d'un charbon qui autrement serait inutilisable, mais de choisir entre divers modes d'emploi, applicables à un même combustible, l'aboutissement des supputations qui précèdent devrait être de mettre l'industriel à même de résoudre le problème suivant :

Pour une usine donnée, disposant d'une espèce de charbon donnée, y a-t-il une économie à attendre de l'établissement du chauffage au charbon pulvérisé, ou bien un autre mode d'utilisation du combustible conduirait-il à une dépense moindre?

On doit, pour effectuer la comparaison, calculer dans chacun des deux systèmes :

1° D'une part, la quantité de charbon qui sera consommé;

2° D'autre part, le prix de revient de la tonne de charbon au foyer.

Ce prix de revient s'obtient en majorant le prix du charbon à l'entrée de l'usine (qui est naturellement le même dans les deux cas) de la somme des dépenses additionnelles suivantes, toutes rapportées à la tonne de combustible, savoir :

a) Frais de transport du charbon à l'intérieur de l'usine;

b) Frais de la main-d'œuvre de chauffe et frais d'entretien des foyers;

c) Dépenses d'amortissement et d'entretien des installations spéciales nécessitées par le système, intérêts du capital engagé de leur chef, consommation de travail mécanique, de lubrifiant, etc., correspondant à leur fonctionnement.

Cela posé, pour qu'il y ait avantage pécuniaire à adopter le système du charbon pulvérisé plutôt que l'autre système, il faut et il suffit que le pourcentage de réduction de la consommation de charbon, en passant de l'autre système à celui du charbon pulvérisé,

soit supérieur au pourcentage de réduction du prix de revient de la tonne de charbon au foyer, en passant du système du charbon pulvérisé à l'autre système (1).

Pour donner une idée des résultats auxquels peut conduire, lorsqu'il s'agit d'une centrale de pulvérisation, le calcul du prix de revient de la tonne de charbon au foyer, voici, à titre d'exemple, quelques chiffres obtenus en empruntant les diverses données aux supputations indiquées plus haut. Les résultats du calcul ne valent donc tout au plus que ce que valent les supputations elles-mêmes. On a envisagé deux cas quant à l'importance de l'installation, à savoir une centrale débitant environ 2 t de charbon à l'heure et une centrale débitant 20 t; et, pour chaque consistance d'installation, le calcul a été fait dans deux hypothèses relatives au prix de la tonne de charbon, à savoir 100 f et 200 f. On a admis que le travail mécanique, dans chacune de ces deux hypothèses, revient respectivement à 20 centimes et à 30 centimes par kilowatt-heure. La journée d'ouvrier a été comptée 25 f pour huit heures de travail. On a supposé que l'installation fonctionne d'une manière continue (vingt-quatre heures par jour, trois cents jours par an).

Enfin, on a porté 16 p. 100 de la dépense de premier établissement des installations spéciales, pour le total des frais d'amortissement et d'intérêts afférents à ces installations.

C'est dans ces conditions (envisagées, nous le répétons, à titre de simple exemple) qu'a été établi le tableau ci-après :

Importance de l'installation.				
Nombre de tonnes de charbon à l'heure	2 tonnes.		20 tonnes.	
Prix de la tonne de charbon à l'entrée de l'usine.	100 f	200 f	100 f	200 f
Dépenses additionnelles par tonne de charbon :				
Frais d'amortissement et d'intérêts	5 55	5 55	3 34	3 34
Entretien	1 73	1 73	1 04	1 04
Main d'œuvre	3 12	3 12	0 94	0 94
Dépense d'énergie (travail mécanique)	10 »	15 »	6 »	9 »
Combustible consommé pour le séchage et perte de poussière	3 »	6 »	3 »	6 »
Total des dépenses additionnelles	23 40	31 40	14 32	20 32
Prix de revient de la tonne de charbon au foyer.	123 40	231 40	114 32	220 32

Il faudrait maintenant faire d'une manière analogue le calcul du prix de revient de la tonne de charbon au foyer pour l'autre mode d'emploi du combustible. C'est le rapport, entre la différence des deux sommes de dépenses additionnelles et la valeur du prix de revient au foyer, afférente au système du charbon pulvérisé, qui doit être comparé à la réduction de consommation résultant de celui-ci (2).

(1) Soient respectivement, dans le système du charbon pulvérisé et dans l'autre système, K_1 et K_2, les quantités de charbon qui seront consommées, F_1 et F_2 les valeurs du prix de revient de la tonne de charbon au foyer. Pour qu'il y ait avantage à adopter le système du charbon pulvérisé, il faut et il suffit que l'on ait

$$F_1K_1 < F_2K_2$$

d'où

$$\frac{K_2 - K_1}{K_1} > \frac{F_1 - F_2}{F_2}.$$

(2) En effet, si l'on désigne par C le prix du charbon à l'entrée de l'usine, par D_1 et D_2 les deux sommes de dépenses additionnelles, l'inégalité indiquée dans la note précédente peut s'écrire

$$\frac{K_2 - K_1}{K_1} > \frac{D_1 - D_2}{C + D_2}.$$

Soit, par exemple, un établissement ayant à consommer par heure environ 2 t de charbon à 100 f. Admettons que la tonne de charbon au foyer reviendrait à 123,40 f, conformément au tableau ci-dessus, dans le cas où l'on établirait une centrale de pulvérisation, et à une somme moindre, que nous supposerons être de 112 f par exemple, au cas d'un autre mode d'emploi du combustible. Dans ces hypothèses, la condition, pour qu'il y ait avantage à adopter le système de la pulvérisation, est que celui-ci procure, par rapport à l'autre mode d'emploi, une réduction de la consommation de combustible supérieure à $\frac{23,4 - 12}{112}$, soit à 10 p. 100.

L'étude est à faire dans chaque cas particulier, sans qu'il soit possible de dire ici rien de général sur les conclusions auxquelles on serait conduit.

VI. — Conclusions.

Si, résumant toutes les observations qui précèdent et nous bornant aux points les plus essentiels, nous cherchons à établir sous une forme abrégée le bilan des avantages et des inconvénients du charbon pulvérisé, nous trouvons :

1° A l'actif.

a) Un dégagement particulièrement complet de la chaleur correspondant au pouvoir calorifique du combustible, qu'il s'agisse de combustibles riches ou de combustibles pauvres;

b) La possibilité de brûler certains combustibles de qualité inférieure, à peu près inutilisables autrement;

c) Une conduite facile des feux, un allumage et une extinction instantanés et, sous réserve que les dispositions générales de l'installation s'y prêtent, une souplesse d'allure spécialement appréciable dans certaines applications.

2° Au passif.

a) Les risques d'accidents;

b) Les difficultés provenant des cendres;

c) Le coût élevé des installations.

Toutefois, il semble ressortir de l'ensemble des renseignements recueillis que, en ce qui touche les éléments du passif :

a) Les risques d'accidents peuvent être beaucoup réduits en tenant compte de l'expérience acquise et prenant toutes les précautions appropriées;

b) Les difficultés provenant des cendres paraissent maintenant pouvoir être surmontées dans les appareils judicieusement établis et convenablement employés;

c) Les dépenses spéciales d'intérêts et d'amortissement, nécessitées par le coût des installations, peuvent en certains cas être plus que compensées, par les économies à attendre, soit d'une moindre consommation de charbon, soit de l'emploi d'un charbon d'un moindre prix.

Il est donc souhaitable que les industriels français, attentifs aux leçons de l'expérience américaine et aux résultats des essais entrepris sur notre territoire ou dans les pays voisins, ne manquent pas de mettre à profit ce mode d'utilisation du charbon, dans les cas où il apparaîtra comme applicable avec sécurité et économie.

Susceptible, d'une part, d'assurer le dégagement presque intégral des calories correspondant au pouvoir calorifique des combustibles consommés et, d'autre part, de faire

entrer dans la consommation certains combustibles qui autrement ne seraient guère utilisés ou le seraient mal, l'extension de ce mode d'emploi du charbon, si son succès s'affirme, sera l'un des moyens de diminuer l'insuffisance de notre production nationale en combustibles minéraux.

PAUL FRION,
directeur de l'Office central de Chauffe rationnelle.

Vu :

Pour le président de la 1re Sous-Commission, empêché,
Le vice-président de la Commission,
WALCKENAER.

LES SERVICES FRANÇAIS D'EXPANSION COMMERCIALE

Le Ministère du Commerce et de l'Industrie vient de publier une brochure (1) qui renferme, condensés en quelques pages, tous les renseignements relatifs à l'organisation et aux attributions : de l'Office national du Commerce extérieur; des attachés et agents commerciaux; des offices commerciaux; des chambres de commerce françaises à l'étranger et de la Banque nationale du Commerce extérieur.

Ces services ont été réorganisés conformément à la loi du 25 août 1919; il convient d'en connaître toutes les ressources. Cette organisation nouvelle vise à favoriser le commerçant exportateur : en lui fournissant, sur des points précis, des renseignements immédiatement utilisables; en faisant suivre, par ses agents, les affaires faites à l'étranger, pour que des obstacles imprévus ne viennent pas en entraver le succès. Ces agents interviennent afin d'écarter les difficultés provenant de questions de transport ou de régimes douaniers; ils guident l'action des représentants, assistent les voyageurs de leurs conseils, facilitent leurs démarches; ils veillent au recouvrement des créances et à la défense des droits litigieux.

Les renseignements contenus dans la brochure permettront aux industriels et aux commerçants de connaître en peu de temps : les institutions françaises à l'étranger créées pour le développement de notre action économique; le concours qu'ils sont en droit d'attendre d'elles et l'intérêt qu'ils auront à utiliser ce concours.

Nous croyons devoir donner ci-après la liste et l'adresse : des agences régionales de l'Office national du Commerce extérieur en province; celles des attachés, agents commerciaux et offices commerciaux français à l'étranger.

Agences régionales de l'Office national du Commerce extérieur.

Bordeaux, à la Chambre de Commerce de Bordeaux.
Nancy, 40, rue Gambetta.
Lyon, 31, rue Ferrandière.
Marseille, Palais de la Bourse, escalier A.
Toulouse, 2 bis, rue Alsace-Lorraine.
Lille, Palais de la Bourse.

Attachés et agents commerciaux français a l'étranger.

Jean Périer, ministre plénipotentiaire, attache commercial en *Grande-Bretagne*. Ambassade de France à **Londres**.

Harismendy, ministre plénipotentiaire, attaché commercial en *Italie*. Ambassade de France à **Rome** et 9, via di Villa-Patrizi.

(1) *Les services français d'expansion commerciale*. Ministère du Commerce et de l'Industrie, 101, rue de Grenelle, Paris (7e) et Office national du Commerce extérieur, 23, Avenue Victor-Emmanuel-III, Paris (8e). Une brochure de 14 × 22 cm, 16 pages.

HEILMANN, attaché commercial aux *États-Unis*, 2, Rector Street, à *New York*.

KNIGHT, attaché commercial en *Chine*. Consulat de France à **Shanghaï**.

JEAN COLIN, attaché commercial en *République argentine*. Légation de France, à **Buenos Aires**, et 781, calle Tucuman.

COUVE, attaché commercial au *Brésil*. Ambassade de France à **Rio de Janeiro**, et Caixa postal 190.

D'HUMILLY DE CHEVILLY, attaché commercial pour les *Pays russes et limitrophes*. Provisoirement : 18, rue Favart, à **Paris** (2[e]).

JUGE, attaché commercial en *Espagne*. Ambassade de France à **Madrid**.

SARRET, attaché commercial en *Roumanie*. Légation de France à **Bucarest**, et 46, strada Cometa.

CHARRIAUT, attaché commercial en *Belgique*. Ambassade de France à **Bruxelles**.

VICAIRE, attaché commercial en *Pologne*. Légation de France à **Varsovie**.

BLANC, agent commercial en *Tchéco-Slovaquie*, chargé des fonctions d'attaché commercial. Légation de France à **Prague**.

RAOUL DUVAL, agent commercial dans le *Royaume des Serbes, Croates* et *Slovènes*, chargé des fonctions d'attaché commercial. Légation de France à **Belgrade**.

POUJOL, agent commercial en *Autriche*, chargé des fonctions d'attaché commercial. Légation de France à **Vienne**.

CHELARD, agent commercial en *Hongrie*, chargé des fonctions d'attaché commercial. Légation de France à **Budapest**.

MASSIEU DE CLERVAL, agent commercial au *Canada*, chargé des fonctions d'attaché commercial. Consulat général de France à **Montréal**..

TISSEAU, agent commercial en *Norvège*, chargé des fonctions d'attaché commercial. Légation de France à **Christiania**, 12, Uranienborgveien.

EUDES, agent commercial au *Portugal*, chargé des fonctions d'attaché commercial. Légation de France à **Lisbonne**.

BONNEFON-CRAPONNE, agent commercial en *Italie du Nord*, 55, via Lamarmora, à **Turin**.

MOMMEJA, agent commercial à *Francfort*, 1, Marienstrasse à **Francfort**.

***

Par décrets en date des 15 mai et 6 juin 1921 (*Journal Officiel*, du 8 juin 1921) ont été nommés :

M. MARCEL HIGNETTE, attaché commercial en *Suisse*;

M. ALPHONSE MAZET, agent commercial, faisant fonctions d'attaché commercial dans le *Royaume des Serbes, Croates et Slovènes*;

M. RAYMOND ROYER, agent commercial, faisant fonctions d'attaché commercial au *Japon*;

M. PAUL WALLE, agent commercial, faisant fonctions d'attaché commercial au *Chili*.

OFFICES COMMERCIAUX FRANÇAIS.

Suisse. Directeur : M. BOUCHET, 73, Bahnhofstrasse, à **Zurich**.

Grande-Bretagne. Directeur : M. DENDIÉVEL, 153, Queen Victoria Street, à **Londres**.

Espagne. 1° **Madrid.** Directeur : M. DUBOIS, 18, Calle del Principe. — 2° **Barcelone.** Directeur : M. ROBIN, Rambla de Cataluña.

Pays-Bas. Directeur : M. GLASER, Saarphatistraat J. II, à **Amsterdam.**

Roumanie. Directeur : M. BALVAY, 2, Strada Bursei, à **Bucarest.**

Italie. Directeur : M. GABRIEL, 24, Piazza della Pigna, à **Rome.**

Russie. Provisoirement à **Paris.** Directeur : M. N... 18, rue Favart (2e); Secrétaire général : M. TOURNIER.

Groupe des Offices du Levant. Directeur Inspecteur général : M. GRANDGUILLOT, Bureau central, 5, rue Feydeau (2e), à **Paris.** Bureaux correspondants, 5, rue de Noailles, à **Marseille,** et 2, rue du Bât-d'Argent, à **Lyon.**

Égypte. 1° **Alexandrie.** Directeur : M. GRANDGUILLOT; Sous-directeur : M. BÉRANGER, 4, rue Tewfik Pacha — 2° **Le Caire.** Correspondant : M. N... 5, 1, rue Fandak-Savoy.

Syrie et Cilicie. Directeur : M. GILLY. Administration centrale, à **Beyrouth.**

Turquie d'Europe. Directeur : M. PESSEREAU, Hezarène Han, rue Voïdova, Galata à **Constantinople.**

Turquie d'Asie. Correspondant : M. BON, à **Smyrne.**

Grèce. 1° **Athènes.** Directeur : M. SAILLENS, 3, rue de l'Académie. — 2° **Salonique** : Directeur, M. N... 1, rue de Salamine.

Suède. Directeur : M. PARAMON, Bureau commercial de la Chambre de Commerce française, à **Stockholm.**

CONSEIL D'ADMINISTRATION

SÉANCE PUBLIQUE

DU 9 AVRIL 1921

Présidence de M. L. BACLÉ, *président.*

La séance est ouverte à 17 h.

Sont présentés pour devenir membres de la Société et admis séance tenante :

M. LÉVY (Henri), fabricant d'horlogerie, à Besançon (Doubs), présenté par le général Sebert et M. Lebeuf;

l'ASSOCIATION DES INGÉNIEURS POLONAIS A PARIS, 3 *bis*, rue La-Bruyère, Paris (9e), présentée par M. Dybowski;

M. BACLÉ, *président*, annonce que dans la séance en comité secret, qu'il vient de tenir, le Conseil d'Administration a nommé M. Georges CHARPY, membre de l'Institut, membre de son Comité des Arts chimiques — M. Charpy était déjà membre correspondant de ce Comité; — et M. Henri PETIT, membre du Comité d'Agriculture.

M. E. SAUVAGE, présente un rapport au nom du Comité des Arts mécaniques, sur les *appareils jaugeurs* de M. PIETTE (1).

Le Lieutenant-Colonel P. RENARD, présente un rapport au nom du Comité des Arts économiques, sur *trois ouvrages* publiés par le lieutenant de vaisseau ROUCH (2).

Ces deux rapports sont approuvés.

M. BACLÉ, *président*, dit que le programme de la manifestation organisée par la Société d'Encouragement en faveur de l'aluminium et des autres métaux légers français, a été définitivement arrêté. Elle comprendra une exposition et 8 conférences qui auront lieu du 21 au 29 mai, dans notre hôtel. M. Baclé indique les sujets qui seront traités dans ces conférences.

M. BACLÉ, *président*, montre l'intérêt de la question que M. Guiselin va traiter dans sa communication et rappelle les titres du conférencier, tout à

(1) Voir ce rapport à la page 321 du *Bulletin* d'avril 1921.
(2) Voir ce rapport à la page 325 du *Bulletin* d'avril 1921.

fait qualifié par sa longue carrière consacrée au pétrole, pour la traiter avec compétence.

M. A. Guiselin, Ingénieur-chimiste (E. P. C.), membre du Comité général du Pétrole, fait une communication intitulée : *Comment nous libérer du pétrole étranger? Nécessité de créer une industrie nationale des substituts du pétrole.*

La production du pétrole, dans le monde est sur le point de devenir déficitaire. Par suite du développement considérable qu'ont pris les automobiles, les États-Unis eux-mêmes consomment actuellement plus de pétrole ou de produits qui en dérivent qu'ils n'en peuvent extraire sur leur propre territoire.

Or, nulle part dans le monde, aucun des gisements pétrolifères importants n'est commandé par des intérêts français. L'Angleterre, il y a quelques années, se trouvait dans la même situation que nous aujourd'hui, mais, bien longtemps avant la guerre, elle a eu une politique nationale du pétrole et s'est assuré les moyens de s'en procurer autrement que par l'importation.

Une dizaine d'années déjà avant le grand conflit, l'Amirauté britannique avait reconnu la supériorité des navires naviguant aux combustibles liquides : ils peuvent ne pas produire de fumée et ils ont un rayon d'action bien plus grand que les navires chauffés à la houille par suite de la possibilité d'emmagasiner sous un même volume une somme de calories beaucoup plus grande. De plus, le ravitaillement est beaucoup plus facile et plus rapide. Aussi, l'Amirauté britannique avait-elle invité le Gouvernement à faire le nécessaire, d'accord avec les sociétés privées, pour ne pas manquer de pétrole plus tard, quand son emploi sur mer se serait généralisé.

L'Allemagne qui se trouvait dans les mêmes conditions que l'Angleterre et que nous-mêmes, et où les Pouvoirs publics avaient fait les mêmes constatations qu'en Angleterre, avait pris des mesures visant au même but quelque temps après l'Angleterre. L'Angleterre a continué à poursuivre sa politique nationale du pétrole, étendue à l'essence, pendant et après la guerre.

Le grand conflit a prouvé qu'il n'y a pas de guerre possible, actuellement, sans automobiles, sans avions, sans sous-marins, c'est-à-dire sans pétrole, sans essence ; la nation qui dépendra de l'étranger pour son approvisionnement en des matières aussi précieuses pour sa défense nationale sera en état d'infériorité manifeste et est vaincue d'avance. Or, notre pays n'a jamais eu de politique nationale du pétrole et n'en a pas encore. Les Pouvoirs publics commencent seulement à s'en préoccuper et ne se sont guère inquiétés, jusqu'à présent, que de réglementer l'importation du pétrole en France, et de constituer, dans notre pays, les stocks nécessaires à la défense nationale. Aussi, déjà, rien que pour ce qui concerne les besoins du temps de paix, le consommateur français est menacé de payer le pétrole très cher dans quatre ou cinq ans, puis d'en manquer tout à fait dans une dizaine d'années. Il y a donc une nécessité vitale à ce que nous produisions sur notre propre territoire, métropolitain ou colonial, les succédanés capables de remplacer le pétrole et l'essence.

M. Guiselin explique pourquoi le pétrole consommé en France est un produit

étranger. L'exploitation régulière, industrielle, des gisements pétrolifères est toujours précédée d'une période, très longue et très coûteuse, de recherches souvent infructueuses, et accompagnée de spéculations dans lesquelles disparaissent des capitaux cousidérables. Mais cette difficulté n'arrête pas les étrangers, ni même les capitalistes français, car nombreux sont nos compatriotes qui ont des intérêts dans des exploitations pétrolifères étrangères ou même dans des sociétés d'études et de recherches pétrolifères.

Notre législation minière n'est pas propre non plus à faciliter ces recherches sur notre territoire; on est en train de la remanier et de l'améliorer à ce point de vue. Cependant, cette seconde difficulté n'a point empêché non plus les prospecteurs étrangers de faire des recherches sur notre propre territoire, en France ou dans nos colonies.

La technique des pétroles est aussi fort ignorée chez nous. On vient d'en faire l'objet d'un enseignement à Strasbourg : il aurait fallu l'instituer beaucoup plus tôt. Même si nous devions rester toujours importateurs de pétrole et n'en pas trouver chez nous, il serait avantageux que nos ingénieurs et nos chimistes fussent nombreux dans les exploitations pétrolifères de l'étranger. Nous serions au moins un peu mieux informés de ce qu'elles valent et de ce qui s'y passe.

M. Guiselin est convaincu de la possibilité de trouver du pétrole en Algérie et aussi, très probablement, en France.

Les substituts du pétrole que nous devons trouver sont, par ordre d'importance décroissante, selon le conférencier : les lubrifiants, les carburants, les lampants, les combustibles.

Le colza, en France, et le ricin, dans nos colonies, peuvent nous fournir abondamment tous les lubrifiants dont nous avons absolument besoin, et cela, pour *tous* nos moteurs.

Les carburants peuvent se trouver dans : l'alcool de distillerie (betterave, riz, banane); l'alcool de bois; l'alcool de synthèse, à partir du carbure de calcium; les huiles légères, provenant de la distillation pyrogénée de nos lignites; le benzol, provenant de la distillation pyrogénée de la houille et de la tourbe (M. Guiselin est d'avis que, comme pendant la guerre, on devrait exiger que cette distillation se fasse dans tous les cas avec récupération des sous-produits et débenzolage du gaz); les produits légers provenant du cracking des huiles lourdes. On peut aussi, par une distillation pyrogénée de la houille et de la tourbe conduite de certaine façon, à basse température notamment, augmenter grandement la proportion de benzol formée qui passe dans le gaz et est récupérable.

Les lampants sont des produits qui, probablement, nous manqueront tout d'abord, car, dans la distillation fractionnée des produits qui les fournissent, on tend de plus en plus à faire passer les fractions légères dans les carburants, dits gazolines, ou dans les carburants pour poids lourds, et les fractions lourdes dans les combustibles, notamment ceux qui sont consommés dans les moteurs Diesel.

Les combustibles comprennent le mazout, dont on a tant parlé. Leur emploi rationnel n'est pas dans des foyers où ils sont mal utilisés mais dans les moteurs Diesel. On emploie, pour la combustion, des huiles lourdes résiduelles. Nous pourrions facilement en importer de quoi satisfaire nos besoins et à bon compte; malheureusement, ces produits étant des résidus, c'est-à-dire étant d'une composition très

variable, on ne peut exiger de ceux qui les fournissent qu'ils aient une composition définie et constante sans payer une forte plus-value, dont l'importance n'est jamais justifiée. Il faut prendre ce mazout, ces résidus, tels quels et en tirer le meilleur parti possible.

Il convient de faire remarquer que l'application généralisée du cracking tend à modifier la répartition entre ces quatre catégories des produits extraits des pétroles bruts.

Aucun des substituts des carburants existants chez nous actuellement n'est suffisant, à lui seul, pour remplacer les carburants dont nous avons besoin; mais, réunis, ils seraient très largement suffisants. Il faut donc que tous les producteurs possibles de ces substituts coordonnent leurs efforts. L'appoint que pourront fournir plus tard l'alcool de bois et l'alcool de synthèse, nous permet d'envisager l'avenir avec confiance si cette coordination est réalisée.

L'emploi de plus en plus généralisé du gaz d'éclairage et surtout de l'électricité, obtenue en utilisant les chutes d'eau, si nombreuses chez nous, est de nature à diminuer notre dépendance vis-à-vis de l'étranger en ce qui concerne les lampants.

Les conclusions du conférencier sont : 1° Bien utiliser le pétrole que nous importons de façon à réduire sa consommation par cheval-vapeur ou par unité de lumière fournis, au strict minimum;

2° Unir tous ceux, capitalistes, industriels, techniciens, qui, par leurs efforts combinés, en utilisant les divers succédanés, peuvent permettre de les substituer, soit isolément, soit en mélange, au pétrole déficitaire.

E. L.

M. Baclé, *président*, remercie M. Guiselin de son intéressante communication; il nous a fait entrevoir un avenir moins sombre que nous ne le pensions. Cependant, si nous l'en croyons, cet avenir dépend d'une union étroite entre tous les intéressés qu'il sera peut-être bien difficile de réaliser. C'est à cette union que notre Société fait appel et elle s'en est inspirée en instituant une enquête, toujours ouverte, sur la question des substituts du carburant et du lubrifiant nationaux.

La séance est levée à 18 h. 15 m.

SÉANCE PUBLIQUE

DU 23 AVRIL 1921

Présidence de M. L. Baclé, *président*.

La séance est ouverte à 17 h.

Le procès-verbal de la séance précédente dont le compte rendu provisoire a été adressé à tous les membres est approuvé.

Sont présentés pour devenir membres de la Société et admis séance tenante :

M. Leroy (Louis), membre du Bureau des Longitudes (Maison L. Leroy et Cie, horlogers de la Marine), 7, boulevard de la Madeleine, Paris (1er), présenté par le général Sebert et M. Lebœuf;

MM. Bordet Frères, industriels, à Froidvent (Côte-d'Or), présentés par M. Albert Pagès.

M. Baclé, *président*, annonce que le concours de machines à calculer, inspiré par notre manifestation de l'année dernière, aura lieu demain, de 9 h. à 12 h. au Palais Persan, dans l'enceinte de Magic-City. Ce concours a été organisé sur l'initiative de M. Navarre, directeur de la *Revue du Bureau*, et placé sous le patronage du périodique quotidien *La Journée industrielle.*

M. Baclé, *président.* — M. André Grebel, qui appartient à une famille de gaziers et cokiers, est un spécialiste des traitements et des utilisations des hydrocarbures. Avant la guerre, il a été ingénieur de la Société des Huiles Minérales de Colombes, de la Société de Carbonisation, des Maisons Mallet et Parsy; il a été conseil de compagnies minières et gazières, de constructeurs de fours, etc. Pendant les dernières années de la guerre, il a été directeur de l'usine à benzol du Service des Poudres à La Pallice-La Rochelle, qu'il a installée, puis directeur de la raffinerie de pétrole et des usines à benzol de la Société de Lille-Bonnières et Colombes à Petit-Quevilly, près Rouen.

M. Grebel s'occupe plus particulièrement d'installations de récolte et traitements des sous-produits de la houille, de transports de gaz de cokerie, etc. La Société Technique du Gaz en France a récompensé plusieurs fois ses travaux.

M. A. Grebel fait une communication sur *l'état actuel et l'avenir de l'industrie gazière, la récupération du benzol.*

Le conférencier n'envisage guère que le gaz artificiel, produit par distillation pyrogénée de la houille ou par la décomposition de l'eau par le coke incandescent; les gaz de bois et de lignite ne sont apparus momentanément qu'à la faveur du bouleversement économique résultant de la guerre. La France est en retard sur les pays voisins en ce qui concerne l'emploi du gaz de cokerie et du gaz à l'eau.

De plus en plus, la distillation pyrogénée de la houille tend à être conduite de même façon dans les cokeries et les usines à gaz, en employant les mêmes procédés, mais ce sont les cokeries qui, en ces dernières années, ont fait le plus de progrès en ce qui concerne la régularité de marche — jusqu'à la continuité — l'économie de main-d'œuvre, la récupération des sous-produits. Les usines à gaz devraient s'inspirer de ce qui a été fait dans les cokeries. La loi de huit heures n'est pas un obstacle

absolu aux progrès de l'industrie gazière, dans laquelle il est possible même d'envisager la suppression du travail de nuit. De plus, le gaz à l'eau paraît de plus en plus devoir être introduit dans le gaz de ville.

Comme d'autre part, même pour l'éclairage, à cause de la généralisation de l'emploi des becs à manchon incandescent, c'est le pouvoir calorifique qui mesure le mieux le degré d'utilisation du gaz, c'est cette donnée qu'on doit chercher à substituer à celle du pouvoir éclairant du gaz, car elle a de moins en moins raison d'être.

D'ailleurs, les applications du gaz évoluent surtout vers le chauffage. La production de force motrice par moteurs à gaz est particulièrement avantageuse dans les conditions actuelles de prix de vente du gaz, de la houille et de l'électricité. Cet emploi ne s'est guère développé cependant que dans les centrales qui utilisent sur place le gaz des fours à coke.

Les deux sources principales de benzol sont : le goudron et le gaz produits dans la distillation de la houille ; le gaz en contient beaucoup plus que le goudron, de 20 à 40 g par mètre cube pour la houille ordinaire, de 30 à 45 g pour la houille à gaz. C'est Carvès qui, en 1884, paraît avoir eu le premier l'idée d'extraire le benzol du gaz des fours à coke : il l'absorbait en mettant le gaz en contact avec les parties lourdes des huiles obtenues par la distillation du goudron de ses fours. La plupart des cokeries emploient encore ce procédé, modifié seulement dans l'appareillage.

Cependant, ces huiles ne constituent pas un très bon dissolvant : elles ne peuvent se charger de benzol au plus que de 2 à 3 p. 100 de leur poids ; elles en retiennent toujours une notable proportion ; de plus, il en reste encore beaucoup dans le gaz. On obtient de bien meilleurs résultats en employant les crésols comme dissolvant (procédé Brégeat). Ce procédé a été employé avec succès, pendant la guerre, à la récupération des solvants du coton-poudre. Ses applications se sont multipliées à l'étranger, surtout aux États-Unis et en Allemagne. Les mines de Carmaux l'ont adopté pour leurs deux batteries de 60 fours à coke.

Les conclusions de M. Grebel sont que, dans l'intérêt national :

Les petites usines à gaz doivent se grouper pour former des centrales gazières ;

La fabrication du gaz à l'eau doit être développée pour réduire nos importations de houille à gaz ;

Les nouveaux contrats passés avec les municipalités autoriseront une teneur du gaz en oxyde de carbone de 15 p. 100 au moins, teneur qui est largement dépassée dans la distribution de nombreuses grandes villes étrangères ;

Les installations de fours à coke avec récupération doivent être développées pour diminuer nos importations de coke métallurgique et augmenter nos disponibilités en gaz de cokerie ;

Les cokiers et les gaziers doivent s'entendre pour distribuer à grande distance, le plus possible de gaz de cokeries aux agglomérations des régions où se fabrique le coke métallurgique ;

Seul un pouvoir calorifique minimum du gaz sera exigé, de façon à permettre la distribution urbaine du gaz de fours à coke débenzolé ;

Le Parlement et les Pouvoirs publics doivent imposer le débenzolage du gaz à tous ceux qui distillent plus de 10 000 t de houille par an ;

Les appareils à gaz pour le chauffage culinaire et domestique doivent être perfectionnés en vue d'améliorer leur rendement, très inférieur en général à celui des

appareils électriques similaires qui ont sur eux l'avantage d'une plus grande commodité. L'avenir de l'industrie gazière est, en effet, dans le développement de cette branche de consommation.

E. L.

M. Baclé, *président*, remercie M. Grebel de son intéressante communication, pleine de faits et d'idées, et qui vient si heureusement compléter les documents que rassemble notre Société sur les substituts des dérivés du pétrole. Le benzol est un des substituts de l'essence. Si nous savons le vouloir, nous pourrons trouver en France même le benzol dont nous avons besoin pour remplacer une partie de l'essence qui viendra à nous manquer peut-être un jour.

La séance est levée à 18 h. 15 m.

BIBLIOGRAPHIE

Initiation financière, par M. Raphael-Georges Levy, membre de l'Institut, sénateur (Collection des Initiations). Un vol. (19 × 12 cm) de 238 p. Paris, Librairie Hachette (7 f).

Il est utile en tout temps de donner au public des notions exactes et précises sur les sujets dont il s'occupe journellement. Celui de la finance lui tient particulièrement à cœur et, de la loge du concierge au salon du plus somptueux hôtel particulier, en passant par tous les intermédiaires, il alimente les conversations pour une large part. Cependant, les notions les plus élémentaires de la finance sont souvent ignorées, aussi bien au salon qu'à la loge. On peut donc conseiller à une grande quantité de lecteurs le livre de M. Raphaël-Georges Levy.

Mais il ne s'agit pas seulement d'apprendre ce qu'on ignore, il faut aussi redresser ce que l'on a appris de travers et cela est plus nécessaire encore. La longue période de guerre que nous venons de subir a apporté un trouble profond dans beaucoup d'esprits. Les circonstances exceptionnelles résultant de l'état de guerre ont profondément modifié l'hypothèse normale sur laquelle sont fondées les lois économiques : plus de libre concurrence entre une série de grandes nations; plus de liberté d'échanges et de transports à l'intérieur même des territoires nationaux considérés isolément; l'État, seul client des industries fondamentales dont il réquisitionne les produits et réglemente l'exercice; par suite, chutes des sauvegardes

naturelles qui nous mettent à l'abri, en période de paix, des méfaits du monopole, des excès de la spéculation. Ajoutez enfin que les états, contraints de se livrer à des dépenses d'un ordre de grandeur absolument imprévu, perdent le souci de leur équilibre budgétaire et que, dès lors, le poids des déficits dus aux entreprises industrielles qu'ils conduisent, ne leur fournit même plus un avertissement salutaire contre les résultats financiers de l'étatisme.

En présence de ces brusques changements, l'opinion s'accrédite que l'expérience du passé ne sert de rien et que la science économique et financière a fait faillite. C'est le moment de rappeler ses enseignements et de les éclairer par l'interprétation des faits auxquels nous assistons. Il est extrêmement opportun, par exemple, en présence de la campagne inflationniste, de rappeler la vraie nature et le rôle de la monnaie de papier, la nécessité où nous sommes d'assainir notre circulation fiduciaire et de créer un mouvement en faveur de la « saine monnaie », comme le firent, il y a vingt-cinq ans, les Américains, lors de l'élection de Mac Kinley. Il ne s'agit pas pour nous de lutter pour l'étalon d'or que nous avons en pratique : il s'agit de revenir le plus rapidement qu'il sera possible au régime normal dans lequel le billet de banque est toujours convertible en espèces, c'est-à-dire à la suppression du cours forcé. M. Raphaël-Georges Levy résume très clairement et présente avec beaucoup de relief ce qu'il est essentiel de connaître en cette matière. « La monnaie, dit-il, est un signe de la valeur et il n'y a aucun intérêt pour une nation à en grossir la quantité. La seule chose qui importe, c'est de multiplier les éléments réels de la richesse. »

On trouvera aussi dans cet ouvrage un chapitre très actuel sur le change international, les règlements internationaux, la dépréciation du change, toutes matières que l'auteur a étudiées spécialement et dont il présente ici une vue d'ensemble après les avoir traitées avec plus d'ampleur dans d'autres publications (1).

Dans la partie consacrée aux finances privées, notons spécialement un chapitre sur le rôle des différents genres de banques : banques d'émission, banques de dépôt, banques d'affaires, banques hypothécaires. Ces distinctions fondamentales sont établies avec une grande simplicité qui permet à tout lecteur attentif de lever un coin du voile qui cache aux yeux de la plupart des profanes le mystère des opérations de banque. C'est bien là de l'initiation. A coup sûr, il n'est pas nécessaire que tout le monde sache lire le bilan d'une banque, mais il serait bon que la plupart des électeurs, ou tout au moins de leurs mandataires, se rendissent compte que, dans notre société moderne, les banques sont un organisme utile au même titre que les moyens de production et de transport et qu'ils eussent une idée de la fonction qu'elles remplissent.

Les finances publiques, le budget de l'État, les impôts sont également l'objet d'une présentation sommaire mais précise, et sont étudiées en fonction des événements actuels. Il en est de même des marchés de valeurs mobilières. M. Raphaël-Georges Levy montre l'influence que peuvent avoir les sociétés par actions pour la conservation et le développement d'entreprises individuelles de grande envergure. On vante généralement le mérite qu'elles ont eu d'appeler la petite épargne à la participation de vastes affaires ; on signale peu, en général, cet autre aspect de leur

(1) Voir en particulier la brochure *Le Change*, éditée par le Comité parlementaire français du Commerce, 1921.

rôle, grâce auquel elles sauvent des affaires établies menacées par la disparition de leur fondateur.

Enfin, un chapitre très curieux contient les leçons de la grande guerre en matière financière. Ne pouvant les énumérer ici, je signale tout spécialement celle que l'auteur formule sur la permanence de la fortune immobilière. C'est une vue profonde, que les grands bouleversements rendent clairement perceptible, mais que le train ordinaire des choses tend, au contraire, à obscurcir, surtout dans les milieux urbains. Il est intéressant de la trouver exprimée avec conviction par un financier joignant la pratique des affaires à l'enseignement méthodique de la science financière.

Nous disions au début que la lecture du livre de M. Raphaël-Georges Levy pourrait être conseillée à beaucoup de Français. Ceux qui suivront ce bon conseil en retireront, non seulement des connaissances nettes, mais aussi d'utiles indications. Mais le meilleur fruit de l'ouvrage sera cueilli par ceux qui prendront dans le commerce intellectuel de l'auteur le goût et l'habitude d'étudier avec méthode les phénomènes dont il est d'usage de parler suivant ses préjugés personnels ou d'après les circonstances du moment.

PAUL DE ROUSIERS.

Manuel du mécanicien et du chauffeur de locomotive, à l'usage du personnel des machines et des stagiaires des écoles techniques, par M. EUGÈNE BRILLIÉ, Ingénieur des Arts et Manufactures, conseil technique aux Établissements Schneider et C[ie]. Un vol. (19 × 13 cm) de XI + 164 p., avec 107 fig. Paris, Gaston Doin, 1921.

La grande expérience, acquise par M. Brillié dans son service à la C[ie] de l'Ouest et dans ses travaux ultérieurs, jointe à un esprit didactique, lui a permis de rédiger un excellent manuel, parfaitement approprié à la formation du personnel des locomotives et des aspirants aux services de traction. Sans donner une description détaillée des organes des machines, M. Brillié en indique clairement et d'une manière concise les dispositions essentielles; une bonne illustration complète utilement ses descriptions.

Les règles de la conduite de la machine sont tout particulièrement étudiées dans ce manuel, et les principaux incidents de service y sont examinés. Les explications de l'auteur, très judicieuses et faciles à comprendre, apprendront à ses lecteurs ce qu'ils doivent faire dans l'exercice de leur profession, et leur apprendront en outre à réfléchir, à raisonner avec justesse.

J'ajouterai que ce manuel est de nature à être utile non seulement aux professionnels, pour lesquels il a été écrit, mais à tous ceux qui s'intéressent à cet admirable engin qu'est la locomotive à vapeur.

ED. SAUVAGE.

Hydraulique générale et appliquée, par M. Denis Eydoux, Ingénieur des Ponts et Chaussées, professeur suppléant à l'École nationale des Ponts et Chaussées. (*Encyclopédie du Génie Civil et des Travaux Publics*, publiée sous la direction de M. A. Mesnager, membre de l'Institut). Un vol. in-8 (23 × 15 cm) de VIII + 510 p., avec 214 fig. Paris, J.-B. Baillière et fils, 19, rue Hautefeuille, 1921.

M. Eydoux est à la fois un théoricien distingué, dont les publications sur des sujets nouveaux, tels que les mouvements de l'eau dans les conduites, les coups de bélier et différents systèmes hydrauliques à mouvement alternatif, ont été particulièrement remarquées, et un praticien expérimenté, qui s'est acquis de bonne heure une réputation méritée de spécialiste, par la création d'importantes installations hydro-électriques dans la région des Pyrénées et les recherches expérimentales auxquelles il les a soumises.

Son ouvrage en porte nettement la marque, car il s'est délibérément proposé d'en éliminer les études de pure spéculation, pour y condenser de préférence, sous la forme la plus simple, les connaissances d'hydraulique générale et appliquée absolument indispensables pour les réalisations concrètes de l'ingénieur et y limiter l'emploi du calcul au strict nécessaire, c'est-à-dire lorsqu'il constitue un moyen de prévoir les faits et de les vérifier par l'emploi des diverses méthodes de mesures industrielles, en insistant surtout sur les sujets dont l'importance s'est révélée dans la pratique la plus récente.

C'est ainsi qu'après avoir repris très rapidement les principes de l'hydrostatique et de l'hydrodynamique générale, il aborde aussitôt les conditions de l'écoulement de l'eau dans les conduites sous pression, les variations du régime, les ondes de pression, les oscillations en masse, les coups de ressort, puis les applications des conduites sous pression, les divers mouvements de l'eau (uniforme, graduellement varié, puis varié), les ondes de translation, etc. Après quoi il dirige ses recherches sur l'écoulement de l'eau à travers les milieux poreux, les nappes souterraines et les sources.

Une autre partie de l'ouvrage est consacrée à l'hydraulique spéciale des cours d'eau naturels, à leur régime, puis à celui des marées, à la mise en suspension et à l'entraînement des matériaux mobiles et aux formes générales qui en résultent, d'où l'auteur passe naturellement aux modes de régularisation des rivières, à l'emploi des réservoirs d'emmagasinement, aux moyens d'expérimentation, aux procédés et appareils employés dans la pratique pour les mesures courantes.

Et il conclut que la science est parvenue à établir d'ores et déjà une doctrine suffisante pour les besoins de la technique actuelle, et que, grâce à elle, l'ingénieur est en possession des éléments utiles pour résoudre à peu près tous les cas qui se présentent couramment dans la pratique.

Ce résumé rapide donne bien l'impression que présente magistralement M. Blondel, membre de l'Institut, dans la préface qu'il a consacrée à l'ouvrage de M. Eydoux, en disant que ce livre contribuera sans aucun doute à une « rénovation féconde de cette partie de l'enseignement technique ».

G. Bechmann.

Bureau international du Travail. — **Enquête sur la production** : I. *Mémoire introductif*. In-8 (24 × 15 cm) de 224 p. Paris, Berger-Levrault, 1920.

Dans sa Session de Gênes (1920) le Conseil d'administration du Bureau international du Travail avait décidé l'ouverture d'une enquête *sur la production industrielle dans les différents pays du monde*.

Pour en aménager la réalisation, le Bureau international, dirigé par M. Albert Thomas, a été amené à établir, dans ce premier *Mémoire*, un « programme de travail », qui comportera d'abord l'utilisation des statistiques et des enquêtes déjà publiées dans les différents pays, puis des enquêtes complémentaires et directes du Bureau lui-même.

Une première partie est consacrée aux principaux « faits » qu'il s'agit de constater et de décrire : rendement des ouvriers dans les travaux d'avant et d'après-guerre et variations des prix nouveaux dans leur rapport avec les prix d'avant-guerre.

La deuxième partie étudie les « causes » à rechercher et à dégager pour rendre compte de l'état actuel de la production et des marchés : crise des combustibles et des matières premières, problème des stocks, crise des transports, crise de l'outillage, crise des changes, resserrement du crédit; puis, pour le travail ouvrier, déficit de main-d'œuvre résultant des disparitions et des mutilations de la guerre, réduction de la journée de travail, pénurie d'ouvriers qualifiés, grèves, chômages et « états d'esprit collectifs », suscités ou développés à la faveur de la guerre, qui font obstacle à la concorde industrielle et au plein rendement des ateliers.

La troisième partie envisage les « solutions » à étudier et à préconiser, spécialement la « démocratisation de l'industrie » par des organismes d'administration paritaire, la « question du salaire aux pièces », la « stabilisation du travail » par la coordination rationnelle des fabrications et par certaines alternances d'emplois, le perfectionnement de l'outillage et des transports, et les remèdes — ou palliatifs — contre les crises des approvisionnements et des changes.

L'ampleur d'une telle étude, d'objectif universel et de rayon mondial, suffit par elle-même à en montrer tout ensemble l'intérêt et l'audace. Ce n'est qu'à l'œuvre réalisée que se pourront juger ses artisans.

En l'état, cette sorte de préface doctrinale à l'Enquête entreprise retiendra l'attention de tous ceux que préoccupent les problèmes — plus que jamais inséparables — de l'organisation de la production et de l'organisation du travail.

Elle est de lecture instructive pour ceux qui n'ont pas l'habitude acquise de fréquenter ces problèmes; suggestive, à certains égards, pour ceux qui en ont déjà fait l'objet de leurs études et de leurs réflexions; inquiétante aussi, il faut le dire, pour ceux que ne laissera point sans craintes ce manifeste international semi-bourgeois de nouveautés sociales hardies ou plus que hardies.

On y trouvera, sans plus attendre, des extraits précieux et des résumés graphiques de statistiques officielles et privées qu'il n'est pas toujours aisé d'avoir sous la main, un inventaire assez méthodique des préoccupations maîtresses qui assiègent à l'heure actuelle patrons et ouvriers et quelque chose comme un premier plan architectural (mais sans devis estimatif) d'une vaste reconstruction sociale.

Dans ce cadre d'étude et d'action (car en matière sociale l'étude est toujours de l'action), le premier Mémoire du Bureau international du Travail semble à la fois plein de promesses et de menaces.

Il est remarquable par la variété des aspects qu'il considère et des suggestions

qu'il amorce, comme par les saisissants raccourcis de statistique qu'il a su grouper avec une incontestable compétence.

Plus discutables apparaissent la clairvoyance et la prudence de ses tendances, notamment en ce qui concerne les évaluations du rendement effectif de la journée de huit heures et « la participation plus ou moins large » des ouvriers « au contrôle des conditions du travail ou même à la gestion des entreprises ».

On ne peut se défendre d'appréhender plus d'une témérité dans une enquête qui semble devoir être peu rebelle à la conception paradoxale d'une « organisation *législative* de l'industrie », qui ne prétend rien de moins que le plein « rétablissement d'une situation *normale* (?) », et où perce la séculaire utopie de faire le bonheur de tous avec la paresse fantaisiste de chacun, « en rendant le travail agréable » et « en le libérant de toute subordination ».

GEORGES PAULET.

OUVRAGES REÇUS A LA BIBLIOTHÈQUE

EN AVRIL 1921

EYDOUX (DENIS). — **Hydraulique générale et appliquée** (*Encyclopédie du génie civil et des travaux publics*). In-8 (25 × 15) de VIII + 510 p., 214 fig. **Bibliographies**, p. 4, 12, 18, 26, 40, 65, 95-96, 130, 141, 159, 184, 208, 250, 269, 289, 307, 334, 358, 386, 404, 413, 450, 494. Paris, J.-B. Baillière et fils, 1921. **16201**

KEGHEL (MAURICE DE). — **Les bois industriels. Traité de la conservation et de l'amélioration des bois** (*Encyclopédie industrielle*). In-12 (19 × 12) de 360 p., 41 fig. Paris, J.-B. Baillière et fils, 1921. **16202**

BOUCHAYER (AUGUSTE). — **Les conduites forcées avant la guerre** (L'Industrie et les arts appliqués en Dauphiné). (*La houille blanche, 1902*). In-8 (22 × 14) de 141 p., 41 fig. Grenoble, Imp. générale, 1919. **16203**

BERTHELOT (C.). — **La technique moderne des goudrons de houille** (*Revue de Métallurgie*, février à mai 1920). In-4 (27 × 22) de 104 p., 53 fig. Paris, Éditions de la Revue de Métallurgie, 5, Cité Pigalle, 1920. **16204**

BRILLIÉ (EUGÈNE). — **Manuel du mécanicien et du chauffeur de locomotive** à l'usage du personnel des machines et des stagiaires des Écoles techniques. In-12 (19 × 13) de XI + 164 p., 107 fig. Paris, G. Doin, 1921. **16205**

FAYOL (HENRI). — **L'incapacité industrielle de l'État : Les P. T. T.** (*Revue politique et parlementaire*, 10 mars 1921). In-8 (24 × 16) de 118 p. Paris, Dunod, 1921. **16206**

UNION DES SOCIÉTÉS INDUSTRIELLES DE FRANCE. — **3e Congrès, Mulhouse, 2-4 juin 1920.** In-8 (26 × 17) de 305 p. I pl. Mulhouse, Société industrielle de Mulhouse, 1921. **16207**

MOUREU (CHARLES). — **La chimie et la guerre. Science et avenir** (*Les leçons de la guerre*). In-8 (20 × 13) de 384 p. Paris, Masson et Cie, 1920. **16208**

Cours de mathématiques générales (*Cours de perfectionnement d'artillerie, Joigny, 1918-1919*). In-8 (22 × 14). 2 vol. de 583 p., fig. (*Don du Comité du retour aux études techniques*). **16209**

CROZAT (HENRY). — **La cité idéale ou l'urbanisme social et rationnel.** Son plan, sa construction, son organisation. In-8 (23 × 14) de 96 p. Paris, Ed. Besson et Cie, 1920. **16210**

Marchand (P.). — **Les travaux du bois**, à l'usage des entrepreneurs, charpentiers, ébénistes, charrons et commerçants. In-12 (19 × 13) de XI + 227 p., 146 fig. Paris, Masson et Cie, 1920. **16211**

Allievi (Lorenzo). — **Théorie du coup de bélier**. Notes I à V. Traduit par Daniel Gaden. In-4 (27 × 18). Texte de XV + 134 p. Atlas de XLIII pl. (contenant 64 fig.). Paris, Dunod, 1920. **16212**

Cours de mécanique appliquée à l'usage des élèves de l'Institut électrotechnique et de mécanique appliquée et des candidats au certificat de mécanique appliquée (*Cours de l'Institut électrotechnique et de mécanique appliquée de l'Université de Toulouse*). Tome II : **Statique graphique et résistance des matériaux**, par Louis Roy. In-8 (25 × 16) de 213 p., 86 fig. Paris, Gauthier-Villars et Cie, 1921. **16213**

Vessiot (Ernest) et Montel (Paul). — **Cours de mathématiques générales**, professé à la Faculté des Sciences de Paris en 1919-1920. In-8 (25 × 16). 1re partie : **Éléments d'algèbre de calcul différentiel et de géométrie analytique**, par E. Vessiot, de XV + 504 p., fig. Paris, Librairie de l'enseignement technique, 1921. **16214**

Recueil de formules et tableaux à l'usage des techniciens, publié par l'Association des élèves sortis de l'École industrielle de Liége. In-8 (22 × 14) de 72 p. Liége, 1921. **16215**

Leclerc (Émile). — **Nouveau manuel complet de typographie** (*Manuels Roret*). In-18 (15 × 9) de 655 p., fig., V pl. Paris, L. Mulo, 1921. **16216**

Comptes rendus du Congrès régional du lin, organisé par les Chemins de fer de l'État, sous les auspices de la Société centrale d'Agriculture de la Seine-Inférieure. **Rouen, mars 1921**. In-8 (24 × 16) de 88 p. Paris, Chemins de fer de l'État, Service agricole, 6, rue Cambacérès (8e), 1921. **16217**

*
* *

Allix (Georges). — **Les chemins de fer et la journée de huit heures** (*Revue politique et parlementaire*, 10 mars 1921, 14 p.). **Pièce 12607**

Comité central d'Études et de Défense fiscale. — **Le privilège du Trésor en matière de bénéfices de guerre**. In-8 (21 × 13) de 12 p. Paris, 21, rue Croix-des-Petits-Champs, 1921. **Pièce 12608**

Comité central d'Études et de Défense fiscale. — **Impôt sur les bénéfices industriels et commerciaux**. Coefficients applicables au chiffre d'affaires pour l'évaluation des bénéfices. (*Journal officiel*, 13 mars 1921). In-4 (32 × 24) de 19 p. **Pièce 12609**

Haut Commissariat de la République française en Syrie. Gouvernement d'Alep. — **Renseignements commerciaux sur le Gouvernement d'Alep** (octobre 1920). In-8 (23 × 15) de 14 p. **Pièce 12610**

Ministère du Commerce et de l'Industrie. — **Les services français d'expansion commerciale**. In-8 (22 × 13) de 16 p. Paris, Ministère du Commerce et de l'Industrie, 101, rue de Grenelle; Office national du Commerce extérieur, 23, avenue Victor-Emmanuel-III, 1921. **Pièce 12611**

Baclé (L.). — **La destruction systématique par les Allemands des usines métallurgiques du Nord et de l'Est de la France pendant l'occupation militaire (1914-1918)**. (*Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale*, novembre-décembre 1920, 103 p., 100 fig.). **Pièce 12612**

Société française de stéréotopographie. — **Applications techniques nouvelles des plans obtenus automatiquement par la stéréotopographie**. In-12 oblong (19 × 22) de 11 p., X pl. Paris, 85, rue Lauriston. **Pièce 12613**

*
* *

Ministère de l'Agriculture. Direction de l'Agriculture. Office de renseignements agricoles. — **Statistique agricole annuelle, 1919**. Paris, Imprimerie nationale, 1920. **Pér. 242**

Ministère de l'Instruction publique et des Beaux-Arts (Sous-Secrétariat d'État de l'Enseignement technique). Conservatoire national des Arts et Métiers. — **Rapport**

général au Conseil d'Administration du Conservatoire national des Arts et Métiers sur l'état du Conservatoire, le fonctionnement des services et les résultats de l'enseignement pendant les années 1913 à 1919. M. H. Couriot, rapporteur. **Pér. 308**

Smithsonian Institution. — **Annual Report of the U. S. National Museum, 1920.** Washington, 1920. **Pér. 27**

Smithsonian Miscellaneous Collections. — Vol. 71, n° 4 (publ. 2545); n° 5 (publ. 2578); n° 6 (publ. 2579). — Vol. 72, n° 4 (publ. 2588); n° 5 (publ. 2589). Washington, 1920. **Pér. 27**

Bureau of Standards. — **Miscellaneous Publications, n° 42** : *Progress Report of the National screw Thread Commission* (Authorized by Congress, July 18, 1918, H. R. 10852) as approved june 19, 1920, de 109 p., 44 fig. Washington, 1921. **Pér. 61**

Bureau of Standards. — **Annual Report of the Director Bureau of Standards to the Secretary of Commerce** for the fiscal year ended june 30, **1920** (Miscellaneous Publications, n° 44). Washington, 1920. **Pér. 61**

Bureau of Standards. — **Technologic Papers, nos 136, 167, 172, 174, 176, 177. — Scientific Papers, nos 395, 396, 397, 398, 400. — Circulars, nos 102, 103, 104, 105.** Washington, 1920. **Pér. 61**

National Physical Laboratory. — **Collected Researches.** Vol. XV, **1920.** London, 1920. **Pér. 62**

Ministère de l'Agriculture. Direction générale des Eaux et Forêts. — **Annales** (*Forêts, Hydraulique, Génie rural, Météorologie agricole*). Documents officiels, jurisprudence. Rapports et notes techniques (France et Étranger). **Fasc. 49.** Paris, Imprimerie nationale, 1917-1918. **Pér. 9**

Koninklijke Akademie van Wetenschappen te Amsterdam. — **Proceedings of the Section of Sciences.** Vol. XX, p. 1, 2 (1918). **Pér. 279**

Koninklijke Akademie van Wetenschappen te Amsterdam. — **Verhandelingen.** 1te Sectie, Deel XII, nos 4, 5. — 2te Sectie, Deel XX, nos 1, 2, 3, 4. **Pér. 279**

K. Svenska Vetenskapsakademien i Stockholm. — **Arkiv för Kemi, Mineralogi och Geologi.** Bd 7. H. 6 (1920); Bd 8, 1-2 (1921). — **Arkiv för Matematik, Astronomi och Fysik.** Bd 14, H. 3-4 (1920); Bd 15, H. 1-2 (1921). **Pér. 8**

Ministère du Travail. Direction du Travail. — **Rapports sur l'application des lois réglementant le travail en 1913.** Paris, Imprimerie nationale, 1920. **Pér. 211**

Royal Society of New South Wales. — **Journal and Proceedings.** Vol. LIII, 1919. Sydney, 1919. **Pér. 29**

Textile Manufacturer Year Book 1921. Manchester, 65, King Street. **Pér. 421**

Sociedad Cientifica « Antonio Alzate ». — **Memorias y Revista.** Tomo 37, nos 4, 5 y 6. — Tomo 38, nos 11 y 12. Mexico, 1920-1921. **Pér. 10**

Department of Scientific and Industrial Research. — **Building Research Board.** Special Report n° 1 : *Sand-line and other concrete bricks*, by H. O. Weller, 11 p. London, 1921. **Pér. 456**

Préfecture du Département de la Seine. Direction de l'hygiène, du travail et de la prévoyance sociale. — **Annales des services techniques d'hygiène de la ville de Paris,** publiées sous la direction du Préfet de la Seine. Tome I : *Compte rendu des travaux de 1913 à 1919.* Paris, Gauthier-Villars et Cie, 1921. **Pér. 188**

Bulletin scientifique et industriel de la maison Roure-Bertrand fils, de Grasse. — 4e série, n° 3, avril 1921. **Pér. 179**

Institution of Mechanical Engineers. — **Proceedings, 1920** (july-december). London, 1921. **Pér. 114**

L'agent général, gérant,
E. Lemaire.

Coulommiers. — Imp. Paul BRODARD.

BULLETIN

DE

LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT

POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

COMITÉ DES CONSTRUCTIONS ET BEAUX-ARTS

Rapport présenté par M. Marcel Magne, au nom du Comité des Constructions et Beaux-Arts sur les *Nouveaux procédés géométriques de décoration de* M. Joseph Fernand Rhodes, dit Josefern.

La géométrie, qui s'impose à l'esprit comme la raison elle-même, se trouve dans toutes les créations de la nature, sous sa forme parfaite dans les cristaux, les ondes — par des applications plus libres dans la structure des fleurs, le contour des feuilles, la disposition des écailles des poissons ou des yeux des plumes de paon.

Pour ce double motif, elle a été l'élément des arts les plus anciens, non seulement en fournissant les lignes de l'architecture, mais même en donnant des motifs ornementaux.

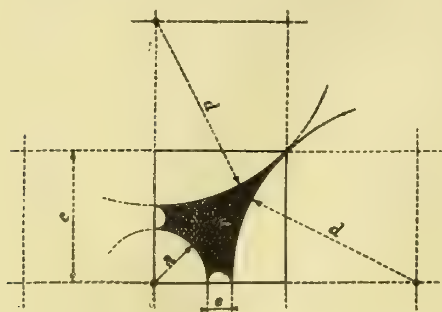
Il suffit de rappeler le seuil assyrien conservé au Louvre, dont la composition est tirée du recoupement des circonférences par d'autres circonférences dont les centres sont aux sommets de l'hexagone inscrit, — ou la disposition des ornements appelés grecques.

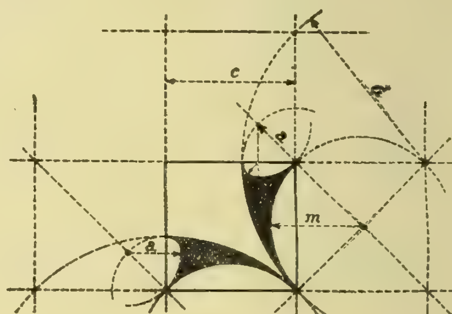
Même les arts qui ont le plus usé du décor floral, comme notre art du Moyen Age, n'ont pas dédaigné les combinaisons d'entrelacs, de damiers, qui font la base des arts orientaux.

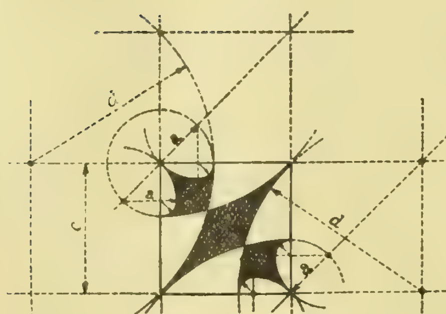
Cependant un seul art a érigé en principe exclusif l'emploi de la géométrie : l'art arabe, dont les dispositions régulières de lignes

droites autour de centres de figures ont donné des effets décoratifs riches et divers.

Mais il y a lieu de remarquer que l'art arabe a limité ce principe aux combinaisons rectilignes. Exceptionnellement, au salon de repos







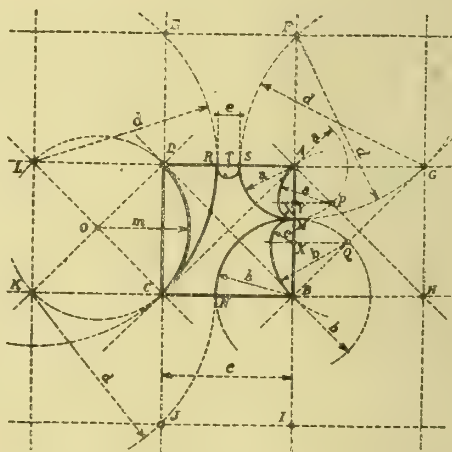


Fig. 4. — Tracé des courbes sur le carré. Exemples de motifs élémentaires tirés de ce tracé.

de l'Alhambra, comme dans nos pavements du XIIe ou du XIVe siècle, rencontre-t-on des dessins curvilignes simples.

Josefern, partant de l'idée qu'en ne se souciant que de logique le géomètre produit parfois de la beauté, et que d'autre part l'artiste, ayant en vue la beauté, est amené à obéir à la logique, s'est demandé si, par un maximum de logique, on ne pourrait pas obtenir un maximum de beauté.

Examinant les carrelages modernes, il constate qu'en général les dessinateurs, ou bien ont composé des motifs sans se préoccuper de leur morcellement en carreaux, arrivant par là à un résultat aussi contraire à l'économie, par suite de la multiplicité des pièces différentes, qu'à l'esthétique, en raison du passage fâcheux des joints, — ou bien ont fait un carreau formant à lui seul un motif dont la répétition est fastidieuse.

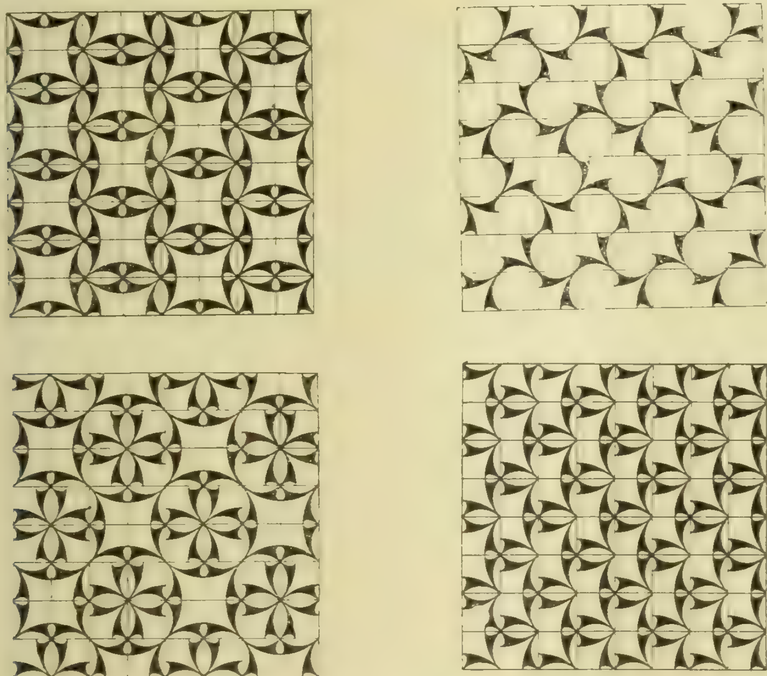


Fig. 2. — 4 dessins différents donnés par les combinaisons d'un même carreau élémentaire, choisi parmi ceux qui sont tracés sur la figure 1.

Il en conclut qu'il y a lieu de procéder autrement et de considérer le carreau initial non comme devant se suffire à lui-même pour donner un effet, mais comme devant permettre de créer, par juxtaposition, des effets intéressants.

C'est ainsi qu'après avoir étudié le jeu des courbes dans un réseau carré, il détermina une série d'arcs de cercles obéissant à une règle générale très simple dont les caractéristiques sont les suivantes :

1° Les centres sont toujours pris sur les côtés du carré, sur les diagonales ou sur les prolongements de ces lignes;

2° Les points de raccordement sont réduits au minimum : l'angle du carré et deux points symétriques sur le côté;

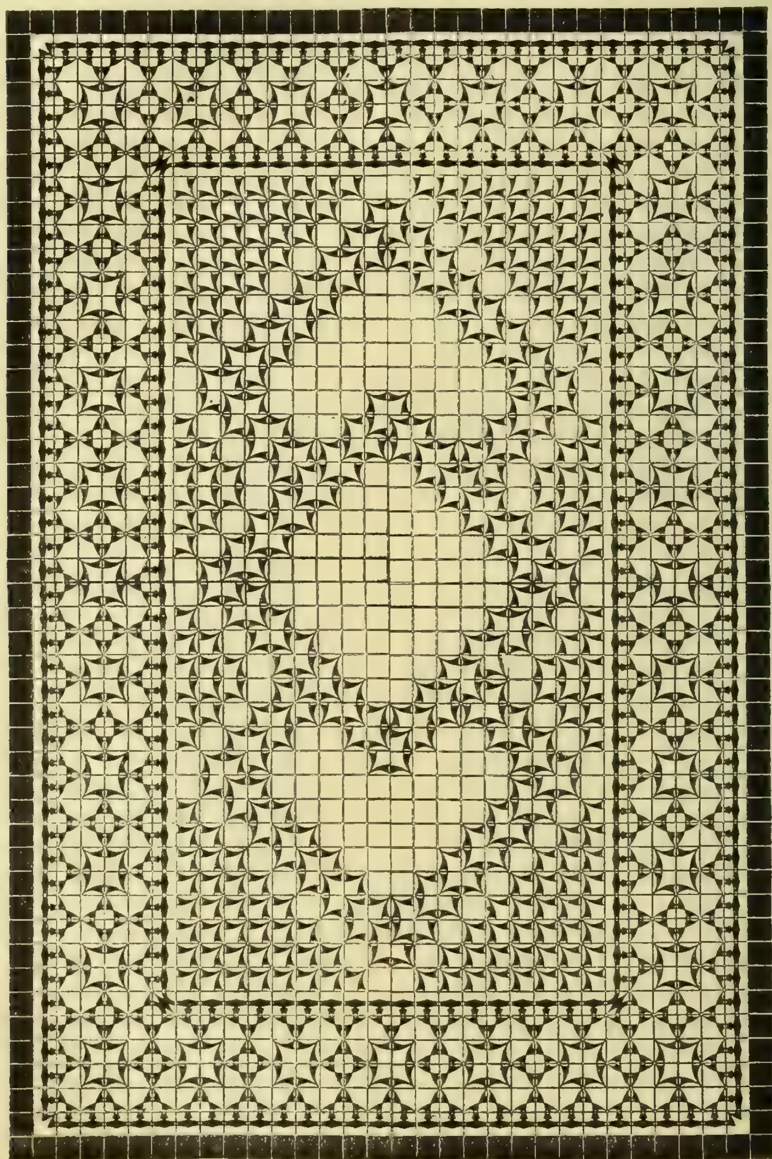


Fig. 3. — Motif central de carrelage obtenu par la disposition variable de carreaux du type précédent et l'adjonction de carreaux blancs.

3° Les courbes sont normalement coupées par le côté du carré, ou, si elles passent par le sommet de l'angle, tangentes en ce point à la diagonale.

Si l'on remarque que tous les rayons des courbes ainsi établies sont fonction de $\sqrt{2}$ du côté du carré, on peut se demander si cette relation numérique est une des causes de l'harmonie de ces courbes.

Par ce procédé, Josefern créa des éléments qui, par eux-mêmes, ne signifient rien, mais dont chacun peut, par juxtaposition, donner une infinité de dessins différents, depuis les plus classiques, quand on cherche les raccords symétriques formant de grands motifs carrés ou

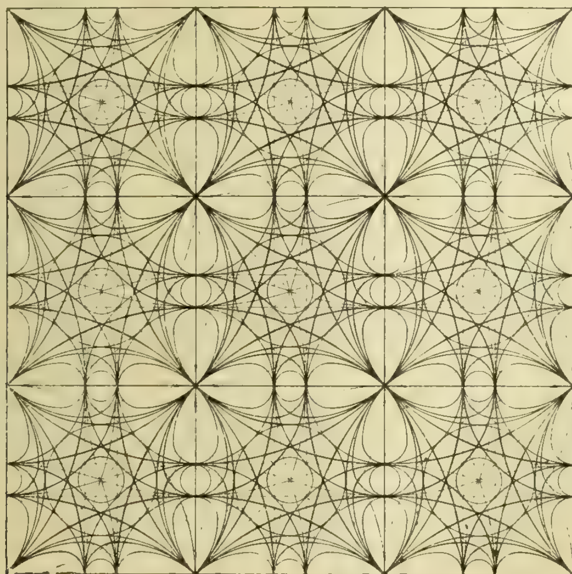


Fig. 4. — Canevas réunissant toutes les lignes correspondant aux tracés de la figure 1.

circulaires, jusqu'aux plus imprévus, quand on assemble les éléments sans ce souci de symétrie (fig. 1 et 2).

Ayant constaté les premiers résultats obtenus, il imagina un canevas (fig. 4) groupant toutes ses courbes dans toutes les positions qu'elles peuvent prendre par rapport au côté du carré. Il suffit alors de choisir et de repasser sur ce canevas les mêmes segments de lignes pour avoir des combinaisons inattendues et toujours harmonieuses, parce que ces segments se raccordent nécessairement (fig. 5).

Josefern, en reprenant dans toute sa rigueur le principe des combinaisons rectilignes arabes, et en l'appliquant à des recherches sur le cercle, ce que les Arabes n'avaient pas fait, a entrepris une tâche dont les résultats peuvent être féconds, non seulement pour l'art de la

céramique, dans lequel son système peut être le point de départ d'un renouvellement complet de la méthode de juxtaposition des petits éléments émaillés séparément, telle qu'elle fut pratiquée par les céramistes orientaux et français au Moyen Age, — mais aussi pour l'art décoratif en général, notamment pour les tissus, les papiers imprimés. La figure 3 reproduit un des effets de tapis que l'on peut obtenir avec un seul carreau élémentaire (partie centrale).

Le travail qu'il a déjà accompli est considérable, mais celui qu'il a abordé actuellement ne l'est pas moins : il s'efforce d'appliquer à

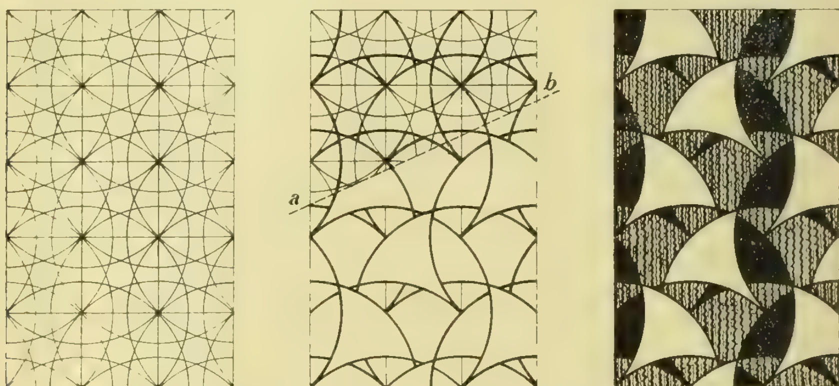


Fig. 5. — Exemple du procédé employé pour tirer un dessin du canevas de la figure 4 en ne se servant que de certaines des lignes.

la combinaison du cercle et de l'hexagone les principes qu'il a employés pour la combinaison du cercle et du carré ; les essais déjà faits sont pleins de promesses.

C'est pourquoi le Comité des Constructions et Beaux-Arts a demandé de seconder les efforts de ce jeune homme, en lui permettant de poursuivre ses recherches qui intéressent particulièrement les applications de l'art à l'industrie.

Votre Comité des Constructions et Beaux-Arts vous demande donc : de vouloir bien remercier M. Fernand Rhodes, de son intéressante communication, de publier le présent rapport dans notre *Bulletin* et de retenir M. Fernand Rhodes parmi ceux que notre Société est disposée en principe à encourager et à récompenser.

Le Rapporteur :

MARCEL MAGNE.

Lu et approuvé en séance publique le 7 mai 1921.

LISTE DES RÉCOMPENSES DÉCERNÉES PAR LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT ANNÉE 1920

Grande Médaille d'or annuelle de la Société.

La Société d'Encouragement décerne chaque année, sur la proposition de l'un des six comités de son Conseil, une grande médaille d'or, portant l'effigie de l'un des plus grands hommes qui ont illustré les arts ou les sciences, *aux auteurs, français ou étrangers, des travaux qui ont exercé la plus grande influence sur les progrès de l'industrie française*, pendant le cours des six années précédentes.

Cette grande médaille à l'effigie de Prony a été décernée pour 1920, par le Comité des Arts mécaniques, à M. Charles Fremont, pour l'*ensemble de ses travaux de mécanique*. Rapporteur : M. Sauvage (voir le rapport de M. Sauvage dans le présent numéro, page 540).

Grand Prix du marquis d'Argenteuil.

Ce prix est décerné, tous les six ans, à l'auteur de la *découverte la plus utile au perfectionnement de l'industrie française, principalement pour les objets dans lesquels la France n'aurait point encore atteint la supériorité sur l'industrie étrangère, soit quant à la qualité, soit quant aux prix des objets fabriqués.*

Ce prix n'a pas été décerné en 1916, à sa date normale, en raison de l'état de guerre. Il sera décerné en 1922 s'il y a lieu.

Le prix pour l'année 1916 a été décerné en 1920 à M. le Général Ferrié pour l'ensemble de ses *travaux sur la télégraphie sans fil*. Rapporteur : M. Carpentier (M. Carpentier a présenté un rapport qui a été approuvé en comité secret du Conseil le 9 avril 1921. M. Carpentier désirait le compléter en ce qui concerne certains travaux du Général Ferrié. La mort a surpris M. Carpentier avant qu'il ait pu remettre le texte de son rapport).

Prix Parmentier.

Ce prix, dont la création est due à l'initiative de M. Aimé Girard, est décerné tous les trois ans. Il est destiné à récompenser les *recherches scientifiques ou techniques susceptibles d'améliorer le matériel ou les procédés des usines agricoles et des industries alimentaires.*

Ce prix est décerné en 1920 à M. Edmond Kayser pour l'*ensemble de ses travaux de microbiologie agricole.* Rapporteur : M. Schribaux (voir le rapport de M. Schribaux, à la page 548 du présent numéro).

Prix Fourcade, en faveur d'ouvriers de fabriques de produits chimiques.

Les exposants de la classe 47, à l'Exposition universelle de 1878, sur l'initiative et avec la coopération de M. Fourcade, ont fondé, auprès de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale, un prix de 1.000 francs qui est remis chaque année, au *simple ouvrier des exposants de la classe 47 ayant le plus grand nombre d'années consécutives de service dans la même maison.*

Le prix Fourcade n'avait pas été décerné en 1919. Il est décerné pour 1919 et pour 1920 :

pour l'année 1919, à M. Comte (Jean), qui, depuis le 1er juillet 1865 est ouvrier à l'usine de MM. Bordet frères, à Froidvent (Côte-d'Or);

pour l'année 1920, à M. Champion (Benoît), qui, depuis le 20 juillet 1867, est ouvrier à la Société française des Produits pharmaceutiques Adrian et Cie, 9 et 11, rue de la Perle, Paris (3e).

Médaille Dumas.

Ces médailles ont été instituées en 1897 — sur l'initiative de M. Aimé Girard — en faveur des *ouvriers qui, sans quitter les ateliers, se sont peu à peu élevés jusqu'au rang de directeur d'usine ou de chef d'un service important dans un grand établissement industriel ou agricole.*

Pour concourir à cette récompense, les seules conditions à remplir

sont d'appartenir à la nationalité française et d'être présenté à la Société par les personnes auxquelles appartiennent les établissements dont les candidats font partie.

La Société d'Encouragement qui, — comme le disait Aimé Girard dans le rapport qu'il présenta à l'occasion de la fondation des médailles Dumas, — s'est donné la mission d'encourager par tous les moyens à sa portée, l'agriculture, l'industrie et le commerce de la France, a pensé qu'elle devait une récompense spéciale à l'ouvrier qui, sans quitter les ateliers, s'est élevé au rang de directeur d'usine ou de chef d'un service important dans un grand établissement agricole ou industriel.

Dans le monde industriel, on saisit immédiatement l'importance de cette création; pour s'en rendre compte, il suffit, depuis 1897, de rappeler les très grands mérites et la haute situation des candidats qui viennent solliciter la médaille Dumas. Les trois lauréats de la médaille Dumas cette année même en apportent une nouvelle preuve :

M. Hameaux (Jules-Victor), né en 1866 à Glageon (Nord), entré au service de la Société Adrien Legrand et Cie, filature et tissage, à Glageon (Nord), comme comptable en 1896, puis directeur du personnel et de la comptabilité à partir de 1908, est resté seul du haut personnel pour surveiller l'usine de Glageon pendant l'invasion allemande.

Il a, à maintes reprises, exposé sa personne et sa santé pour dissimuler à l'ennemi une partie du matériel et des marchandises, et a fait plusieurs jours de prison à ce propos. Pendant toute la durée de l'occupation, son seul souci a été la sauvegarde des intérêts de la filature sans s'occuper des siens.

Depuis l'armistice, il n'a cessé de travailler avec la plus louable ardeur à la reconstitution des bâtiments et du matériel incendiés par l'ennemi au moment où il battait en retraite, et si les usines ont pu reprendre le travail l'été dernier, on le doit en grande partie à l'activité de M. Hameaux.

M. Stoffel (Gustave), né à Lille, le 12 avril 1866, est entré à l'Imprimerie Desclée, de Brouwer et Cie, 41, rue du Metz, à Lille, comme apprenti le 7 mars 1880. En 1888, il prenait la direction totale des ateliers de reliure, et enfin, le 6 mai 1891, la direction totale des ateliers de composition, impression et reliure lui était confiée; il était ainsi à la tête de 250 ouvriers.

M. Allard (Edmond), est entré à la Maison Chaix, 20, rue Bergère, Paris (9e), le 25 septembre 1877 comme apprenti compositeur typographe.

Après avoir été ouvrier pendant deux ans, puis sous-chef à l'école professionnelle de cette Maison jusqu'en 1886, il a été nommé prote adjoint, et le 1er juillet 1900, prote-chef du Service des travaux de l'imprimerie.

Depuis 43 ans qu'il est, en différentes qualités, attaché à l'Imprimerie Chaix, il n'a pas cessé de donner des preuves de sa capacité professionnelle et de dévouement aux fonctions diverses qu'il a remplies.

Médailles de bronze décernées aux contremaîtres et aux ouvriers des établissements industriels et des exploitations agricoles.

La Société d'Encouragement, dans le but d'exciter les *contremaîtres* et les *ouvriers* à se distinguer dans leur profession et à *encourager ceux qui se font remarquer par leur bonne conduite et les services qu'ils rendent aux chefs qui les emploient*, a pensé que le moyen le plus propre à amener ce résultat était d'accorder des récompenses à ceux qu'une longue expérience aurait fait reconnaître comme ayant servi avec zèle, activité et intelligence; en conséquence, elle a pris l'arrêté suivant :

1° Il sera décerné, chaque année, des médailles de bronze aux contremaîtres et ouvriers des grands établissements industriels et des exploitations agricoles de France;

2° Chaque médaille, à laquelle sera jointe une allocation de 50 f, portera gravés : le nom du contremaître ou de l'ouvrier et la désignation soit de l'atelier, soit de l'exploitation agricole à laquelle il est attaché.

Les circonstances présentes ne nous permettent pas encore de reprendre nos séances solennelles de récompenses, mais la Société, par contre, tient plus que jamais à récompenser les ouvriers et contremaîtres qui lui ont été signalés comme dignes d'une distinction toute particulière par leur mérite, leurs capacités professionnelles et leur attachement à la ferme, à l'usine, à la compagnie, dont ils sont parmi les meilleurs collaborateurs.

Notre Conseil est donc très heureux de pouvoir cette année accorder

la médaille de la Société d'Encouragement à 50 ouvriers ou contremaîtres, qui nous ont été présentés par les chefs qui les emploient en des termes tels, souvent que seuls expliquent les liens d'une longue et confiante collaboration.

Les lauréats appartiennent aux maisons suivantes :

L'Imprimerie Chaix, 20, rue Bergère, Paris (9e), nous a présenté 5 candidats entrés dans la maison, le moins ancien en 1880, le plus ancien en 1865.

M. le Marquis de Changey, château de Changey, par Savigny-les-Beaune (Côte-d'Or), 2 ouvriers de sa ferme et de son vignoble dont un travaille comme vigneron depuis 46 ans.

La Maison Ovide Belmor Jeune, carrossier à Ribérac (Dordogne), 1 contremaître entré comme apprenti charron dans l'usine en 1880.

La Compagnie des Chemins de fer de Paris-Lyon-Méditerranée, 13 agents de son service du Matériel et de la Traction, occupés depuis au moins 30 ans par la Compagnie, recommandables à tous égards, et la plupart s'étant élevés du rang de simple ouvrier, à des postes de contremaître principal ou de chef d'atelier.

La Société anonyme des Hauts Fourneaux, Forges et Aciéries du Saut du Tarn, 23, rue du Rocher, Paris (8e), a appelé notre attention sur un de ses contremaîtres, entré il y a plus de 60 ans dans l'usine de Saint-Juéry (Tarn).

La Maison Vve Grosjean, 14, rue des Patriarches, Paris (5e), nous a signalé en particulier 5 de ses ouvriers et contremaîtres, modèles d'assiduité, de dévouement et de travail, dont le plus jeune est entré dans ses ateliers il y a 27 ans.

La Maison Lataste, à Pessac (Gironde), 1 de ses charrons, excellent ouvrier entré chez elle en 1890.

La Société Ch. Lorilleux et Cie, 16, rue Suger, Paris (6e), 22 ouvriers de ses usines comptant au moins 30 années de bons services, recommandables non seulement par cette longue collaboration, mais par leur esprit d'initiative, leur habileté, leur conscience du devoir.

Liste des ouvriers et contremaitres auxquels est décernée la médaille des bons serviteurs de la Société d'Encouragement en 1920.

Ninoreille (Jules), compositeur-typographe.
Petitjean (Jules), contremaître.
Vaillant (Léon), compositeur-typographe.
Billard (Maxime), compositeur-typographe.
Nyaï (Charles), magasinier.

Georget (François), vigneron-caviste.
Georget (Jean-Baptiste), vacher.

Lambert (Jean), contremaître.

Gagnolet (François), chef du garnissage
Bayle (Marius), contremaître.
Escouffier (Pierre), contremaître.
Royer (Eugène), aide-contremaître.
Magnard (Jean-Baptiste), aide-contremaître.
Jacquin (Jean), aide-contremaître.
Ott (Henri), chef-monteur.
Thibon (Marie-Joseph), brigadier-ajusteur.
Tourre (César), brigadier-ajusteur-outilleur.
Pelletier (Adolphe), brigadier-ajusteur.
Jacquier (Henri), brigadier-ébéniste.
Deux (Victor), menuisier.
Raoulx (Jean-Baptiste), tourneur.

Falgayrac (Antoine), contremaître.

Nicolle (Abel), contremaître-ferblantier.
Ferrand (Eugène), ouvrier chaudronnier
Schmauch (Aloys), ouvrier ferblantier.
Jonsery (Jean), manœuvre.
Montely (Joseph), livreur.

Lafon (Guy), ouvrier charron.

Allard (Léon), ouvrier.
Hippert (Jean), contremaître.
Bontard (Alexis), contremaître

Desclos (Clovis), ouvrier.
Lecomte (Ernest), contremaître.
Duperray (Pierre), contremaître.
Ernst (Auguste), ajusteur-mécanicien.
Helck (Guillaume), broyeur.
Weyland (Auguste), contremaître.
Vigné (Arsène), contremaître.
Girard (François), contremaître.
Huyaux (Gaston), ouvrier.
Germain (Jean-Baptiste), contremaître.
Gagnière (Célestin), ouvrier.
Vaillant (Jean), ouvrier.
Bourguet (Louis), ouvrier.
Tabuteau (Théophile), contremaître.
Metz (Jean-Baptiste), ouvrier.
Mathis (Léon), contremaître.
Gerard (Eugène), ouvrier.
Pierre (Victor), ouvrier.
Lengrand (Émile), ouvrier.

Le nombre et les titres des candidats qui nous sont proposés sont la meilleure preuve du prix qu'ouvriers et patrons de notre agriculture et de notre industrie nationale, attachent très justement à la médaille de la Société d'Encouragement; celle-ci, de son côté, considère comme son devoir et comme une de ses plus hautes attributions, de signaler à l'exemple de tous, les ouvriers et contremaîtres français — dont le nombre est infiniment plus grand que l'on ne le croit généralement — véritables modèles d'honneur et de travail.

Médailles d'or.

M. L. Malassis, pour l'*ensemble de ses travaux et recherches sur les machines à calculer*. Rapporteur : M. Paul Toulon (voir le *Bulletin* de septembre-octobre 1920).

M. Ch. Coffignier, pour l'*ensemble de ses travaux et recherches sur les vernis*. Rapporteur : M. A. Livache (voir la bibliographie, *Bulletin*

de mars 1921, p. 314-315 et le rapport de M. Livache dans le présent numéro p. 551).

M. SOULIER et M. FREY, pour leurs *travaux sur la dessiccation des bois*. Rapporteur : Lieutenant-Colonel P. RENARD (voir *Bulletin* de juillet-août 1919, p. 24-25).

M. le COMMANDANT BERTIN, pour ses *travaux sur les bois coloniaux*. Rapporteur : M. DABAT (voir *Bulletin* de janvier-février 1920, p. 17-21).

M. le GÉNÉRAL GAGES, pour l'*ensemble de ses travaux sur la métallurgie et le travail des métaux*. Rapporteur : M. G. CHARPY (voir la bibliographie, *Bulletin* d'avril 1921, p. 412).

Médailles de vermeil.

M. E. BIRLÉ, pour sa *serrure avec loqueteau intérieur pour portières latérales de voitures de chemins de fer*. Rapporteur : M. SALOMON voir *Bulletin* de février 1921, p. 172-178).

M. RENÉ GUÉRIN, pour son *Index méthodique des travaux et essais exécutés de 1915 à 1918 aux Laboratoires de l'Aéronautique de Chalais-Meudon*. Rapporteur : M. L. GUILLET (voir *Bulletin* de mars-avril 1920, p. 157-158).

M. R. COURAU, pour son ouvrage intitulé *Technique des Pétroles*. Rapporteur : M. CHESNEAU (voir Bibliographie, *Bulletin* de février 1921, p. 237-238).

M. MARTIAL ENTAT, pour ses *travaux sur l'emploi des rayons ultra-violets pour constater la désagrégation des tissus sous l'influence de la lumière*. Rapporteur : Lieutenant-Colonel P. RENARD (voir *Bulletin* de mars-avril 1920, p. 153-156).

M. le Lieutenant de vaisseau ROUCH, pour ses *travaux et ses ouvrages sur la météorologie et la navigation aérienne*. Rapporteur : Lieutenant-Colonel P. RENARD (voir *Bulletin* d'avril 1921, p. 325-328).

M. JOSEPH GAUTHIER, pour ses *ouvrages sur la composition décorative et sur l'histoire de l'art*. Rapporteur : M. d'ALLEMAGNE (voir Bibliographie, *Bulletin* de janvier 1921, p. 158-159).

M. MAITROT et M. VIGNEROT, pour leurs *études sur les modèles-types de constructions agricoles*. Rapporteur : M. DABAT (voir *Bulletin* de janvier-février 1920, p. 21-24).

M. René Musset, pour son ouvrage intitulé *Le Bas-Maine*. Rapporteur : M. Henri Hitier.

M. E. Coquidé, pour son ouvrage intitulé *Amélioration des plantes cultivées et du bétail*. Rapporteur : M. Girard (voir Bibliographie, *Bulletin* de février 1921, p. 234-235).

Médailles d'argent.

M. Pol Paxion, pour ses *travaux sur l'utilisation et l'extraction des fibres textiles contenues dans l'écorce des branches du mûrier séricicole*. Rapporteur : M. Dantzer (voir *Bulletin* de janvier-février 1920, p. 14-16).

M. H. Vollet, pour sa *machine à couper et à égaliser les balais et les brosses*. Rapporteur : M. Masson (voir *Bulletin* de janvier 1921, p. 13-17).

M. Barody, pour sa *méthode de coupe des vêtements sur mesure*. Rapporteur : Lieutenant-Colonel Espitallier (voir *Bulletin* de mars-avril 1920, p. 159).

M. Jaussaud, pour sa *machine à pilonner les agglomérés de béton*. Rapporteur : Lieutenant-Colonel Espitallier (voir *Bulletin* de janvier 1921, p. 18-20).

Mlle Gérand (Hélène), *élève du Cours féminin de Dessin industriel*, dirigé par Mlle Marguerite Charles. Rapporteur : M. E. Sauvage.

Médailles de bronze.

Mlle Morvan (Anne-Marie), et Mlle Thorel (Geneviève), *élèves du Cours féminin de Dessin industriel*, dirigé par Mlle Marguerite Charles. Rapporteur : M. E. Sauvage.

COMITÉ DES ARTS MÉCANIQUES

Rapport présenté par M. SAUVAGE, au nom du Comité des Arts mécaniques, sur les titres de M. CHARLES FREMONT à la grande médaille d'or à l'effigie de Prony.

Votre Comité des Arts mécaniques vous propose de décerner la grande médaille d'or de la Société (1920), portant l'effigie de Prony, à M. Charles Fremont, pour l'ensemble de ses travaux.

Depuis plus de trente ans, M. Fremont s'est attaché à la technologie des métaux, étudiant surtout les modes de travail et les méthodes d'essai. Observateur infatigable, habile expérimentateur, il s'est constamment attaché à représenter fidèlement les phénomènes à l'aide d'appareils enregistreurs et de nombreuses photographies. Ne se contentant jamais des aperçus superficiels trop souvent admis sans contrôle suffisant, il a rendu de grands services à la science et à l'industrie en éclairant beaucoup de régions obscures de la technologie, en créant de nombreux appareils d'observation, en donnant l'exemple de méthodes bien appropriées au but que l'on vise. Tout en sachant, lorsque cela est nécessaire, construire les mécanismes les plus délicats, M. Fremont, dans bien des cas, s'est contenté d'installations rudimentaires établies avec le matériel dont il pouvait disposer; il a prouvé, par son exemple, qu'il n'est pas toujours nécessaire, pour mener à bien des recherches scientifiques, de disposer de laboratoires grandioses et d'outillages luxueux.

C'est en 1890 que M. Fremont a publié ses premiers travaux sur la technologie de la forge, dans le petit journal *L'Enclume*, donnant, non pas un exposé de ce qui était connu à ce sujet, mais le résultat de recherches personnelles, notamment en ce qui concerne le travail mécanique accompli par le frappeur. Il fit, à cette occasion, dans le laboratoire du Dr Marey, des relevés cinématographiques des mouvements du frappeur, publiés en février 1895 dans *Le Monde moderne* et

reproduits dans l'*Étude expérimentale du rivetage*, éditée en 1906 par la Société d'Encouragement.

Ces premières recherches le conduisirent à l'étude expérimentale du rivetage et du poinçonnage (*Revue technique* des 25 janvier et 10 novembre 1894), études qu'il reprit plusieurs fois.

C'est à cette occasion qu'il eut l'idée géniale d'utiliser la déformation élastique d'un bâti en fonte de machine, déformation convenablement amplifiée, pour enregistrer les forces développées pendant le cours d'un essai. De ce principe M. Fremont fit de multiples applications, notamment dans sa machine d'essai à la traction, qui trace à grande échelle le diagramme complet des forces et des allongements de l'éprouvette essayée. Cette machine, étant munie d'une romaine qui mesure directement les forces, se trouve ainsi tarée de la manière la plus précise.

Une note à l'Académie des Sciences, présentée par M. Maurice Lévy, le 10 décembre 1894, donne le résultat de ses recherches sur le cisaillement, opération qu'il montre mettre en jeu des effets de traction, ce qui lui permet d'établir une relation entre les essais de cisaillement et les essais de traction.

Une seconde note à l'Académie, du 18 novembre 1895, donne la suite des essais sur le même sujet, exécutés en collaboration avec le président actuel de la Société, M. Bacle. Les résultats en ont été publiés dans le *Bulletin de la Société d'Encouragement* de septembre 1897. Ces recherches exigeaient la mesure continue du travail reçu par les outils exécutant le cisaillage et le poinçonnage. M. Fremont construisit à cet effet un dynamomètre de rotation enregistreur, d'un maniement commode, qui a été fréquemment employé, notamment dans les ateliers de la Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest à Batignolles, où il a servi à déterminer la puissance absorbée par les diverses machines-outils. Les résultats de ces mesures ont été décrits dans le *Bulletin de la Société d'Encouragement* d'avril 1899, en collaboration avec M. Huillier, ingénieur de ces ateliers.

Dans l'ancien dynamomètre de rotation de Morin, l'enregistrement se faisait sur une bande de papier fixée dans une poulie de l'appareil, de sorte qu'il n'était observable qu'après arrêt. Transporté par M. Fremont hors du système tournant, l'enregistreur reste continuellement visible.

Ayant commencé l'étude des essais de métaux par le cisaillement, M. Fremont fut conduit à la continuer en cherchant les moyens de déceler sûrement et de mesurer avec précision la fragilité, propriété dangereuse bien connue, mais dont l'appréciation exacte était fort incertaine. Après de longues recherches, il s'arrêta à l'idée simple de briser une éprouvette par un seul coup d'un mouton possédant une force vive suffisante pour rompre le métal le plus résistant, en mesurant, par la compression d'un ressort, la force vive restante de ce mouton. Cette méthode est décrite dans une note présentée à l'Académie des Sciences par M. Maurice Lévy, le 4 octobre 1897. Depuis cette époque, le mouton Fremont s'est répandu dans le monde entier, et la méthode a été appliquée notamment à l'essai des rails; elle est prescrite par le cahier des charges unifié des grandes administrations de chemins de fer pour la fourniture des rails en acier.

Reprenant comme sujet d'étude l'essai de traction, M. Fremont a cherché une méthode nouvelle de mesure de la limite d'élasticité. Il détermine avec précision cette limite par l'observation des lignes de déformation qui apparaissent sur la surface polie d'une éprouvette à section variable. Cette méthode a été exposée dans le *Bulletin de la Société d'Encouragement* en septembre 1903.

Toujours préoccupé de réduire le nombre des accidents dus aux ruptures de pièces métalliques, M. Fremont a cherché à déterminer les efforts qui se développent sous l'action d'un choc et a publié une étude à ce sujet dans la *Revue de Métallurgie* en juin 1904. Comme applications de cette détermination, il a étudié les améliorations à apporter aux attelages de chemins de fer et aux essieux coudés de locomotives pour en éviter les ruptures. La disposition très ingénieuse qu'il a indiquée pour les essieux coudés, et qui consiste à donner une certaine flexibilité aux parties trop rigides qui se fissurent puis se rompent, a reçu de nombreuses applications.

Sous peine d'allonger outre mesure le présent rapport, il n'est pas possible d'énumérer tous les travaux de M. Fremont. Mais il convient de ne pas passer sous silence ses magistrales études sur le rivetage et la résistance des pièces rivées; parmi les indications utiles de ces études, qui constituent un véritable traité sur la matière, on peut relever spécialement les dispositions qui permettent d'obtenir le

remplissage complet des trous par les rivets, notamment la forme curieuse de rivet dite à collet nourricier.

On trouvera la liste des travaux publiés par M. Fremont à la suite du présent rapport, qui ne pourrait les mentionner tous sans s'allonger démesurément. Il est juste toutefois de ne pas passer sous silence la « machine à mesurer le rendement des vis » (1910); un curieux mémoire sur le clou, extrait des numéros du *Bulletin de la Société d'Encouragement* du 1er semestre 1912, mémoire dont le tirage a été rapidement épuisé, enfin le mémoire sur la lime (1916), où se trouvent la description d'une nouvelle machine à essayer les limes, et l'exposé d'une méthode pédagogique pour former rapidement des limeurs. Cette méthode a été appliquée avec succès à l'école de rééducation des mutilés installée au Grand Palais des Champs-Élysées.

M. Fremont attache une grande importance à la recherche des origines des appareils et des méthodes de travail, recherche qu'il pousse, quand il y a lieu, jusqu'à la plus haute antiquité. Cette méthode lui permet de suivre l'évolution des machines et des procédés dans la suite des temps, et donne à ses mémoires un cachet spécial, qui en augmente l'intérêt pour d'autres que les techniciens. L'illustration abondante de ces mémoires, à l'aide des excellentes photographies de leur auteur, en rend d'ailleurs la lecture facile et attrayante.

Sa riche bibliothèque, où M. Fremont a rassemblé une abondante collection d'ouvrages anciens sur les machines et la technologie, lui a fourni de précieux documents historiques qu'il a su mettre en œuvre habilement.

Il convient d'ajouter que la droiture et la franchise du caractère de M. Fremont, qui paraissent en maints endroits de ses publications, leur donnent un charme spécial.

L'intérêt que la Société a porté aux travaux de M. Fremont s'est manifesté à diverses reprises par l'octroi de subventions : en 1903, 1904, 1906, 1909, 1911, 1913, 1915 et 1919.

L'Académie des Sciences lui a décerné à maintes reprises le prix de la fondation Trémont (22 fois de 1896 à 1920); en 1904, elle lui a attribué le prix Saintour de 3.000 f.

La Société des Ingénieurs civils de France lui a décerné deux

grandes médailles d'or (prix annuel en 1897, prix Michel Alcan en 1898).

D'autre part, l'Iron and Steel Institute lui a donné la médaille d'or de Bessemer « en reconnaissance de ses importantes recherches et des grands services qu'il a rendus à la métallurgie du fer et de l'acier ».

Votre Comité des Arts mécaniques espère que cet exposé, tout sommaire et incomplet qu'il soit, de l'œuvre magistrale de M. Charles Fremont vous permettra de l'apprécier à sa juste valeur et de donner suite à la proposition d'attribution de la grande médaille de Prony.

Le Rapporteur,
E. Sauvage.

Lu et approuvé en comité secret du Conseil le 9 avril 1921.

LISTE DES PUBLICATIONS DE M. CHARLES FREMONT

Technologie du forgeron. *L'Enclume*, 1890 et 1891.

Épuration et stérilisation de l'eau. *Polytechnique médicale*, janvier 1895.

Les mouvements de l'ouvrier dans le travail professionnel. *Le Monde Moderne*, février 1895.

Mémoire sur le poinçonnage et le cisaillement des métaux. *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils de France*, janvier 1896.

Les lignes de Lüders. *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale*, septembre 1896.

Étude expérimentale du cisaillement et du poinçonnage des métaux. *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale*, septembre 1897.

Études de chaudronnerie. *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils de France*, novembre 1897.

Études sur les avaries de certaines chaudières dans la région des rivures circulaires. *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale*, mai 1898.

Appareils nouveaux pour l'essai des métaux employes dans les travaux publics. *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils de France*, décembre 1898.

Étude sur la production des machines-outils façonnant les métaux. (En collaboration avec M. Huillier). *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale*, avril 1899.

Évolution des méthodes et des appareils employés pour l'essai des matériaux de construction. Congrès international des Méthodes d'essai des Matériaux, juillet 1900.

Lignes superficielles apparaissant dans le sciage des métaux. *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale*, novembre 1900.

Étude expérimentale des causes de la fragilité de l'acier. *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale*, février 1901.

Etude expérimentale sur le pliage des barrettes entaillées. (En collaboration avec M. Osmond.) *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale*, avril 1901.

Essai des métaux par pliage de barrettes entaillées. *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale*, septembre 1901.

Essai des métaux par pliage de barrettes entaillées. Congrès des Méthodes d'essais des Matériaux, Budapest, 1901.

Évolution de la fonderie de cuivre, décembre 1902.

Nouvelle méthode d'essai des rails. Communication à l'Académie des Sciences, 5 janvier 1903.

Mesure de la limite élastique des métaux. *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale*, septembre 1903.

Les modes de déformation et de rupture des fers et des aciers doux. (En collaboration avec MM. F. Osmond et G. Cartaud.) *Revue de Métallurgie*, janvier 1904.

Conclusions de la précédente note. (En collaboration avec M. F. Osmond.) *Revue de Métallurgie*, avril 1904.

Mesure de la pression maximum instantanée résultant d'un choc. *Revue de Métallurgie*, juin 1904.

bis. Le poinçonnage envisagé comme méthode d'essai. (En collaboration avec M. Baclé.) *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale*, novembre 1904.

Explosion d'une chaudière de locomotive. *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale*, mars 1905.

Les sillons de corrosion dans les tôles de chaudières à vapeur. (En collaboration avec M. Osmond.) *Revue de Métallurgie*, octobre 1905.

Explosion d'une locomotive. *Le Génie civil*, novembre 1905.

Les propriétés du fer en cristaux isolés. (En collaboration avec M. Osmond.) *Revue de Métallurgie*, novembre 1905.

Résistance au cisaillement des aciers de construction. *Revue de Métallurgie*, mai 1906.

Étude expérimentale du rivetage. Mémoire publié par la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale, 1906.

Les outils préhistoriques, leur évolution, 1907.

Origine du laminoir. *Revue de Métallurgie*, août 1908.

Essai des fers et des aciers par corrosion. *Revue de Métallurgie*, octobre 1908.

Recherches sur les causes de l'explosion d'une bouteille d'hydrogène comprimé. (En collaboration avec M. J. Danlos.) *Le Génie civil*, 10 avril 1909.

De la résistance des pièces rivées. *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale*, avril 1909.

Essais mécaniques de la fonte. *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale*, mai 1909.

Le coup de pointeau central. (En collaboration avec M. F. de Villenoisy.) *Gazette numismatique française*, juin 1909.

Étude expérimentale de la résistance vive à la traction des attelages de wagons. *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale*, novembre 1909.

Le carré creux des monnaies grecques. (En collaboration avec M. F. de Villenoisy.) *Revue numismatique*, décembre 1909.

L'analyse des aciers à l'aide des étincelles. (En collaboration avec M. Pourcel.) *Revue de Métallurgie*, février 1910.

Étude expérimentale sur la résistance des soudures. *Le Génie civil*, 26 février 1910.

Machine à mesurer le rendement des vis. Origines de la vis et des engrenages. *Revue de Mécanique*, mai 1910.

La fatigue des métaux et les nouvelles méthodes d'essai. *Le Génie civil*, 22-29 octobre et 19 et 26 novembre 1910.

Nouvelle méthode d'essai des rails. *Le Génie civil*, 6-13-20 et 27 mai 1911.

Le clou. *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale*, février à juin 1912.

La cause du naufrage du Titanic. *La Technique moderne*, 1er juillet 1912.

Six notes relatives à des méthodes d'essai des métaux. Congrès des Méthodes d'essai des Matériaux. New-York, 1912.

Distribution des déformations dans les métaux soumis à des efforts. Cas du plissement des tuyaux. *La Technique moderne*, 1er juin 1913.

Origine et évolution des outils. Mémoire publié par la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale, 1913.

Origine et évolution des outils préhistoriques, 1913.

A propos du système Taylor. *La Technique moderne*, 1er novembre 1913.

Origine de l'horloge à poids, décembre 1915.

Le balancier à vis pour estampage, février 1916.

La lime, 1916.

Origine et évolution de la soufflerie. Paris, 1917.

Les lois de Wöhler. Paris, 1919.

Critique des expériences de M. G. Charpy sur le corroyage de l'acier. Paris, 1919.

Nouvelles méthodes d'essais mécaniques de la fonte. Paris, 1920.

Origine et évolution du tuyau. Paris, 1920.

Causes des ruptures d'attelages. Paris, 1921.

Sous presse.

Essai, à l'emboutissage, des tôles minces (1).

Origine et évolution de la poulie, du treuil, de l'engrenage, de la roue de voiture, du palan, etc. (2).

Communications a l'Académie des Sciences.

1894. — 10 décembre. **Théorie expérimentale du cisaillement et du poinçonnage des métaux.**

1895. — 24 juin. **Sur le poinçonnage.**

1895. — 12 août. **Sur un microscope spécial pour l'observation des corps opaques.**

(1) Ce mémoire a paru dans le *Bulletin de la Société d'Encouragement* de mars 1921.
(2) Ce mémoire a paru dans le *Bulletin de la Société d'Encouragement* d'avril et de mai 1921.

1895. — 18 novembre (*En collaboration avec M. Baclé*). Sur l'emploi du poinçonnage et du cisaillement comme méthodes d'essais des métaux.

1897. — 22 février. Enregistrement du pliage dans l'essai des métaux.

1897. — 4 octobre. Nouvelle méthode d'essai des métaux.

1900. — 12 novembre. Lignes superficielles apparaissent dans le sciage des métaux.

1901. — 28 janvier. Positions diverses de la fibre neutre dans les corps rompus par flexion; raison de fragilité.

1901. — 2 septembre. Évaluation de la résistance à la traction de l'acier, déduite de la résistance au cisaillement.

1902. — 4 août. Mesure de la limite élastique des métaux.

1903. — 5 janvier. Nouvelle méthode d'essai des rails.

1904. — 12 décembre. De la non-fragilité possible de l'acier, après travail au bleu.

1905. — 3 juillet. Modification de la qualité initiale du fer et de l'acier employés à la fabrication des rivets après que ceux-ci ont été posés à chaud.

1905. — 31 juillet. Influence de la fragilité de l'acier sur les effets du cisaillement, du poinçonnage et du brochage dans la chaudronnerie.

1905. — 7 août (*en collaboration avec M. F. Osmond*). Les propriétés mécaniques du fer en cristaux isolés.

1908. — 21 avril. Sur l'origine des laminoirs.

1912. — 22 avril. Distribution des déformations dans les métaux soumis à des efforts. Cas du plissement des tuyaux.

1915. — 6 décembre. Un échappement d'horloge au treizième siècle.

1918. — 9 décembre. Nouvelle machine pour mesurer la résistance de la fonte par la méthode du cisaillement.

1919. — 6 janvier. Sur la rupture prématurée des pièces d'acier soumises à des efforts répétés.

1919. — 4 août. Nouveaux procédés d'essais mécaniques des métaux.

1919. — 3 novembre. Nouvelle méthode d'essai de fragilité des tubes métalliques.

1920. — 1er mars. De la résistance des aciers à la coupe des outils.

1920. — 22 mars. Du rendement dans le sciage à main des métaux.

1920. — 6 avril. Cause de l'usure ondulatoire des rails.

1920. — 17 mai. Genèse des fissurations de certains essieux.

1920. — 9 août. Cause de la fréquence des ruptures de rails dans leurs extrémités éclissées.

1921. — 17 janvier. Essai, à l'emboutissage, des tôles minces.

1921. — 14 février. De la fragilité au bleu dans certaines soudures d'acier.

COMITÉ D'AGRICULTURE

Rapport présenté par M. Schribaux, au nom du Comité d'Agriculture, sur les titres de M. Edmond Kayser au prix Parmentier.

Lorsque Pasteur découvrit les infiniment petits, qui pouvait pressentir les merveilleux services qu'allait rendre la microbiologie? L'industrie des matières organiques qu'est l'agriculture, devait être la première à tirer de ses progrès les plus grands bénéfices. Personne n'ignore que la microbiologie a révolutionné les industries, mettant en œuvre les produits de la ferme : laiterie, vinification, cidrerie, distillerie, rouissage, etc. Son domaine, déjà si étendu, s'est agrandi singulièrement le jour où nos éminents et regrettés confrères, Schloesing et Müntz, ont démontré que la terre végétale est un milieu vivant. Brusquement, cette découverte a jeté une lumière éclatante, et bien inattendue, sur la plupart des opérations agricoles : préparation mécanique des terres, fumures, irrigation, drainage, etc. Dans les trente dernières années, M. Kayser, maître de conférences de microbiologie, et directeur, après son maître Duclaux, du Laboratoire des Fermentations à l'Institut agronomique, a été l'un des meilleurs ouvriers de la nouvelle science, envisagée dans ses rapports avec l'agriculture.

Sorti major de l'Institut agronomique, M. Kayser commença, au cours d'une mission d'études de plusieurs années en Autriche-Hongrie et en Allemagne, par prendre contact avec la pratique de la brasserie, de la distillerie, de la sucrerie, ce qu'il fit plus tard dans le midi de la France pour la fabrication du vin. La production des matières premières : orge de brasserie, pomme de terre, betterave industrielle, alors très étudiée en Allemagne, sollicita également son attention. A cette époque, Aimé Girard se préoccupait du relèvement de la féculerie française ; il aimait à rappeler le service que lui avait rendu M. Kayser, en lui signalant les nouvelles variétés allemandes de pommes de terre,

et, en particulier, la Richter's Imperator, dont l'introduction en France a eu de si heureux résultats.

Nommé préparateur, et plus tard directeur du Laboratoire des Fermentations à l'Institut agronomique, le premier problème que M. Kayser devait aborder, était celui des levures.

On peut stimuler et régulariser grandement l'activité de ces organismes par une alimentation appropriée. M. Kayser a étudié spécialement l'influence des sels de manganèse, d'urane, des nitrates et autres matières azotées sur ces ferments. Ainsi que les plantes et les animaux, les levures se composent de races très nombreuses, possédant des propriétés différentes. M. Kayser s'est appliqué à découvrir et à utiliser dans la pratique, notamment dans les vignobles du Gard, les levures sélectionnées susceptibles, dans un moût stérilisé ou non, de développer le bouquet des vins. La cidrerie a bénéficié aussi de ses recherches.

Avec son élève, M. Demolon, M. Kayser s'est occupé de la formation des produits volatils et de leur variation dans les boissons fermentées, notions qui présentent un grand intérêt au point de vue de l'appréciation de la valeur des eaux-de-vie.

La fabrication rationnelle de l'hydromel a donné lieu à un important travail, poursuivi en collaboration avec M. Boulanger, travail qui a valu aux deux savants un prix à la Société des Agriculteurs de France. Plus récemment, M. Kayser a fait une étude complète des levures de boulangerie. A la suite de ses recherches relatives à la fermentation des mélasses de canne à sucre et du vesou, il a montré que le ferment alcoolique, ou la combinaison de deux ferments appropriés, influe, au gré de l'expérimentateur, sur la production des éthers et des alcools supérieurs, et, par conséquent, sur la qualité des rhums. Ces recherches ont été très appréciées dans nos colonies de La Guadeloupe, de La Martinique, de La Réunion, où il a placé plusieurs de ses élèves.

Les ferments de vin de palme et de boissons tirées d'autres fruits coloniaux, bananes, ananas, ont été également, de la part de M. Kayser, l'objet de recherches intéressantes.

La graisse est une maladie dangereuse commune au vin, au cidre, à la bière. M. Kayser a démontré que les trois organismes qui la déterminent, diffèrent essentiellement d'une boisson à

l'autre, et manifestent des propriétés en rapport avec leur milieu naturel.

Le pain filant est causé par une maladie analogue à la graisse. M. Kayser a indiqué aux boulangers le remède à cette altération.

Les résultats des recherches de M. Kayser relatives à la fermentation lactique, butyrique, ont été consignés dans d'importants mémoires. Ce sont ses observations les plus anciennes sur la fermentation lactique qui lui ont fourni les éléments d'une thèse de doctorat ès sciences.

Parmi les ferments du rouissage, M. Kayser en a isolé qui sont d'une remarquable activité, et qui permettent d'obtenir, en peu de temps, et d'une façon constante, des textiles de bonne qualité.

Pendant la guerre, alors que les poudreries militaires avaient de si grands besoins d'alcool, M. Kayser orienta ses travaux vers la fermentation du mélange de betteraves et de pommes, et l'utilisation, en distillerie, des glands de chêne, des marrons d'Inde, des algues marines.

De cette énumération rapide et incomplète, il ressort qu'il n'est pour ainsi dire pas d'industrie de fermentation, à laquelle M. Kayser n'ait apporté une contribution importante d'observations nouvelles, d'une portée pratique incontestable.

Travailleur infatigable et désintéressé, aussi modeste qu'il est consciencieux, M. Kayser se consacre tout entier aux travaux de laboratoire et à l'enseignement.

L'affectueuse reconnaissance que lui témoignent, en toute occasion, ses anciens élèves, dont plusieurs sont devenus des maîtres, dit assez en quelle estime ils tiennent leur professeur. Les très nombreuses publications de M. Kayser ne figurent pas seulement aux Comptes rendus de l'Académie des Sciences, dans les Annales de l'Institut Pasteur, de l'Institut agronomique, dans les journaux spéciaux : on les retrouve aussi dans les bulletins des Sociétés d'agriculture et de viticulture, lesquelles ne font jamais appel en vain à sa compétence et à son dévouement.

M. Kayser a publié deux ouvrages, l'un, sur les levures, dans l'Encyclopédie Léauté; la deuxième édition est épuisée depuis longtemps. Le second, qui fait partie de l'Encyclopédie Wéry, est un cours de microbiologie agricole en deux volumes. Le lecteur y trouve le

tableau le plus complet de l'état actuel de nos connaissances sur la matière.

Personne n'est mieux renseigné que M. Kayser sur les travaux poursuivis, en France et à l'étranger, dans sa spécialité. La Revue annuelle qu'il publie, depuis 1909, au *Bulletin* du Ministère de l'Agriculture, complète très heureusement et très utilement son *Traité de Microbiologie agricole*.

Votre Comité d'Agriculture, qui apprécie hautement les titres exceptionnels de M. Kayser, vous propose de les reconnaître en lui décernant le prix Parmentier.

Le Rapporteur,
SCHRIBAUX.

Lu et approuvé en comité secret du Conseil le 9 avril 1921.

COMITÉ DES ARTS CHIMIQUES

Rapport présenté par M. A. LIVACHE, au nom du Comité des Arts chimiques, sur *les travaux* de M. CH. COFFIGNIER.

En présentant son nouvel ouvrage sur les vernis, M. Coffignier sollicite une récompense de la Société d'Encouragement, et, à l'appui de sa demande, il fournit la liste de ses travaux.

Le nouvel ouvrage sur les vernis est une œuvre très méritante tant au point de vue scientifique qu'à celui de la fabrication (1). M. Coffignier n'oublie jamais qu'il est chimiste et il a toujours cherché à expliquer les moyens empiriques employés si souvent dans la fabrication et à les améliorer.

Ses premiers travaux, publiés dans le *Bulletin de la Société chimique*, remontent à 1902 et se sont poursuivis sans interruption. La Société Chimique lui a décerné le prix Nicolas Leblanc.

Sur le même sujet, M. Coffignier a fait des communications et

(1) Voir l'analyse qui en a été donnée dans le *Bulletin* de mars 1921, p. 314.

conférences au Congrès d'Agronomie coloniale en 1905, au Congrès de Chimie pure et appliquée de Londres en 1909, etc.

Il a breveté un certain nombre de perfectionnements dans la fabrication des vernis.

Enfin, il a écrit des ouvrages sur la fabrication des couleurs et sur celle des vernis; ce dernier ouvrage, qui était épuisé, est remplacé aujourd'hui par la nouvelle édition plus complète qu'il a présentée à la Société.

On voit que M. Coffignier a produit une série de travaux très intéressants qui, poursuivis dans un même ordre d'idées, tant au laboratoire qu'à l'usine, constituent une œuvre solide et originale. Votre rapporteur a donc l'honneur de vous proposer de décerner à M. Coffignier une médaille d'or.

Le Rapporteur,
A. Livache.

Lu et approuvé en comité secret du Conseil le 9 avril 1921.

LE CONTRÔLE DE LA CHAUFFE
LES APPAREILS DE MESURE SERVANT A CE CONTRÔLE[1]

I. — Introduction.

Tous ceux qui se sont préoccupés de la question de la meilleure utilisation des combustibles, sont arrivés à la conclusion que des économies sont possibles, mais qu'on ne peut les réaliser avec certitude qu'en se basant sur des mesures précises et sur des expériences industrielles bien faites.

« L'étude scientifique des améliorations possibles du chauffage, disait notamment en mai dernier, à la Société des Ingénieurs civils de France, M. Henry Le Chatelier, le véritable créateur en France de la science industrielle, est encore la voie la plus sûre et la plus rapide que nous puissions suivre pour réaliser les économies indispensables. »

Je n'insisterai donc pas davantage sur la nécessité d'appliquer la méthode scientifique à l'étude des problèmes industriels du chauffage en général.

Ce que je voudrais plus modestement exposer ici, c'est comment, dans le cas d'une installation déterminée, on peut arriver sûrement à la meilleure utilisation du combustible par l'établissement d'un contrôle méthodique et scientifique des appareils de chauffage qui la composent, basé sur l'emploi d'instruments de mesure convenables.

Dans ce but, après avoir mis en évidence la nécessité d'un tel contrôle, je montrerai comment il peut être réalisé pratiquement d'une manière efficace en appliquant une méthode précise d'examen des appareils thermiques et en se servant d'instruments de contrôle bien appropriés.

J'insisterai plus particulièrement sur ces instruments qui nous apparaîtront comme nos plus précieux auxiliaires dans la réalisation des économies de combustible.

On comprendra mieux alors l'intérêt de l'exposition qui doit s'ouvrir le

(1) Conférence faite par l'auteur en séance publique le 5 mars 1921 (voir le compte rendu de cette séance dans le *Bulletin* d'avril, p. 397-399).

Cette conférence, qui avait pour but de montrer que le seul moyen d'obtenir le rendement maximum des appareils de chauffage industriel est d'établir leur contrôle méthodique basé sur l'emploi d'instruments de mesure convenables, devait servir d'introduction naturelle à l'Exposition internationale « des appareils servant au contrôle de la chauffe » organisée, du 12 au 26 mars dernier, au siège de l'Office central de Chauffe rationnelle (5, rue Michel-Ange, Paris, 6e) sous le patronage de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale et de la Société des Ingénieurs civils de France.

12 mars à l' « Office central de Chauffe rationnelle » dans le but de faire mieux connaître ces instruments de mesure et de contrôle de la chauffe.

Grâce au bienveillant patronage de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale et de la Société des Ingénieurs civils de France, que je me fais un agréable devoir de remercier toutes deux ici, vous pourrez voir à l' « Office » de la rue Michel-Ange la plupart de ces appareils en fonctionnement.

II. — Nécessité du contrôle des appareils de chauffage.

On s'est préoccupé, depuis longtemps déjà, de réduire la consommation de combustible dans les usines; dans ce but, pour chaque catégorie d'appareils de chauffage, des règles générales ont été données, permettant de réaliser déjà des économies de combustibles très réelles.

Mais ces règles sont empiriques et comme le plus souvent, les conditions essentielles dans lesquelles elles ont été établies, ne sont pas suffisamment déterminées, elles manquent de généralité; il est impossible, en particulier, de transmettre les résultats obtenus sur un foyer à un autre foyer.

Aussi, ces règles, quoique excellentes, ne suffisent pas. Elles permettent bien d'améliorer le rendement des appareils mais non d'atteindre leur rendement maximum.

Ce n'est qu'en exerçant un contrôle précis du fonctionnement de chaque appareil de chauffage, en chiffrant constamment ses conditions de marche, qu'on sera *certain* d'obtenir la conduite la meilleure, le fonctionnement parfait d'une installation?

Ce contrôle est d'autant plus nécessaire que la variété de nature et de qualité des combustibles peut imposer des changements plus fréquents dans la conduite de la chauffe. Il *précisera* dans chaque cas, d'après les caractéristiques de chaque combustible, les modifications de marche à adopter.

Quelques exemples empruntés à la conduite des générateurs à vapeur feront mieux comprendre ma pensée.

L'on sait fort bien, par exemple, que pour obtenir la marche économique d'une chaudière, il faut éviter les excès d'air au foyer qui refroidissent inutilement les gaz de la combustion, en réduisant le tirage au minimum indispensable pour assurer la combustion complète du charbon.

Mais comment pourra-t-on déterminer le tirage le meilleur, si l'on ne mesure pas les pertes de calories résultant, d'une part de l'excès d'air, dans le cas d'un trop grand tirage, et d'autre part de la présence d'oxyde de carbone dans les fumées et d'imbrûlés dans les escarbilles, si au contraire, le tirage est insuffisant.

Nous avons fréquemment rencontré des usines où, à force de vouloir éviter les pertes calorifiques par excès d'air, des pertes plus considérables encore étaient atteintes par suite de l'envoi dans la cheminée d'une forte proportion de gaz incomplètement brûlé.

Dans d'autres cas, pour éviter des pertes relativement peu importantes par les imbrûlés d'un combustible trop friable, on exagérait le tirage au point de causer des pertes par excès d'air beaucoup plus fortes.

Prenons un autre exemple. Le ramonage fréquent des chaudières est indispensable pour assurer le passage facile des calories, des gaz chauds vers l'eau; mais en ramonant, on refroidit la chaudière, et tout ramonage superflu est nuisible. Le seul moyen méthodique de savoir le moment où le ramonage s'impose, est de suivre la température des gaz à la sortie de la chaudière. Si la température monte, c'est que le ramonage devient nécessaire, et il faut de suite l'effectuer.

Dans ces différents cas, nous voyons comment, seul, le contrôle des appareils de chauffage permet de fixer les meilleures conditions de marche.

Enfin, pour la conduite même des feux, le chauffeur, qui ne dispose pas des moyens de contrôle, est pris entre la nécessité de surveiller ses feux, conformément aux prescriptions qui lui ont été données et auxquelles je faisais allusion plus haut, et l'inconvénient d'ouvrir inutilement les portes des foyers.

Si, au contraire, un appareil lui indique continuellement la dépression au-dessus de la grille, il aura une indication constante sur l'état des feux sans ouverture des portes. Si même il dispose d'un analyseur enregistreur de gaz carbonique dans les fumées, il sera beaucoup mieux renseigné encore et pourra conduire sa chaudière, dans des conditions tout à fait satisfaisantes.

Enfin, dans ce dernier cas, le contrôle a un avantage décisif : il permet de surveiller constamment les chauffeurs, de les classer suivant leur valeur professionnelle et d'attribuer des primes suivant les règles fixées, à ceux qui obtiennent les meilleurs résultats.

Pour achever de bien montrer l'utilité du contrôle, dans le cas des générateurs de vapeur, je crois intéressant de vous signaler les deux exemples suivants choisis d'ailleurs parmi beaucoup d'autres analogues.

A l'automne dernier, une importante sucrerie avait demandé à l'Office central de Chauffe rationnelle de se charger de l'organisation méthodique de sa chaufferie, d'installer les appareils de mesure nécessaires, d'instruire le personnel chauffeur, en un mot d'établir un contrôle continu de son installation.

De très grands efforts déjà avaient été tentés avec succès avant notre intervention dans cette sucrerie pour diminuer la consommation de combus-

tible. En particulier, les règles empiriques auxquelles j'ai fait allusion plus haut avaient été appliquées très consciencieusement et leur mise en pratique avaient permis de réaliser déjà des économies importantes. La consommation de charbon par tonne de betteraves traitées étant passée de 140 à 120 kg.

Cependant, malgré ces résultats, le contrôle complet méthodique que nous avons organisé, l'attribution de primes basées sur ce contrôle, ont permis en moins d'un mois de faire tomber la consommation à 90 kg.

Plus récemment, la Ville de Paris avait chargé l'Office d'améliorer le rendement des chaufferies des usines élévatoires des eaux d'Ivry, de Saint-Maur et d'Austerlitz, en instruisant le personnel chauffeur et en organisant le contrôle de la chauffe basé sur l'emploi d'appareils de mesure.

Les installations étaient satisfaisantes et le personnel consciencieux.

Néanmoins, déjà, au bout de la première semaine de fonctionnement du contrôle, la teneur en gaz carbonique des fumées, qui était primitivement de 5 p. 100 en moyenne, ce qui accusait une perte par les fumées de 37 p. 100 du combustible, était passée à 8 et 9 p. 100 en service courant, ce qui ne correspondait plus qu'à une perte de 20 p. 100 du combustible. L'économie réalisée était ainsi de plus de 15 p. 100 du poids de charbon primitivement consommé; encore s'agissait-il d'un combustible très médiocre.

Dans le cas des fours ou des gazogènes, les mêmes observations peuvent être faites : pour réduire la consommation de combustible, on peut bien appliquer des règles générales, analogues à celles que je rappelais tout à l'heure pour les chaudières, et qui donnent d'excellents résultats; mais, pour obtenir le rendement maximum, il faut l'application d'un contrôle précis des appareils.

Pour les fours mêmes, le contrôle est encore plus nécessaire que dans le cas des chaudières, par le fait que certains produits à élaborer, qui se trouvent continuellement en contact avec les gaz de la combustion, exigent une atmosphère spéciale, oxydante pour certains, réductrice dans d'autres cas.

Si des analyses de gaz ne sont pas continuellement faites, on risque, sous prétexte de vouloir obtenir une atmosphère réductrice, de perdre inutilement beaucoup plus de gaz combustible non brûlé qu'il serait nécessaire, ou inversement, pour obtenir une atmosphère oxydante, d'admettre un excès d'air tout à fait exagéré.

Nous avons très fréquemment rencontré des cas semblables, surtout en céramique. Alors par exemple qu'un excès d'air de 20 à 25 p. 100 est bien suffisant pour assurer une atmosphère nettement oxydante, les ingénieurs de l'Office central de Chauffe rationnelle, dans leurs interventions dans les usines, ont trouvé fréquemment, au cours de certaines cuissons industrielles,

des excès d'air de 200 et 300 p. 100; nous avons même rencontré chez un industriel un excès d'air de 450 p. 100. Chez un autre industriel, qui croyait cuire en atmosphère réductrice, nous avons décelé la présence d'un excès d'air de 50 à 60 p. 100 qui constituait une atmosphère oxydante tout à fait néfaste à l'élaboration des produits en cuisson.

De telles observations se passent de tout commentaire, et il pourrait paraître superflu que j'insiste davantage sur la nécessité d'un contrôle, si je ne croyais intéressant de rappeler, en terminant, les conclusions suivantes du « Fuel Research Board » l'organisme de recherches anglais dont vous connaissez la compétence en matière d'économies de combustibles.

« Dans tout programme pratique pour l'économie de charbon, dit cet organisme, la première place doit être assignée à la réalisation, sans aucune perte de temps, d'un système de contrôle, qui suffira à mettre un terme à tout gaspillage grossier et à assurer que les applications existantes et les méthodes connues sont appliquées dans les meilleures conditions.

« Il n'y a pas de doute que, dans la majorité des industries, une réduction de 5 à 20 p. 100 peut être assurée de cette manière. Dans certains cas, une économie de 30 p. 100 de la consommation de combustible peut être obtenue, seulement par l'application d'un contrôle plus parfait. »

III. — La réalisation pratique d'un controle efficace.

Pour arriver à exercer le contrôle efficace d'une installation de chauffage industriel, à notre avis, deux stades sont à distinguer.

Il faut d'abord faire une étude complète de l'installation dans ses conditions actuelles de fonctionnement, une sorte d'expertise au point de vue thermique, comportant la mesure précise des différentes pertes calorifiques; cette étude critique, en soulignant les défectuosités de marche, permettra de déterminer avec précision les conditions de fonctionnement correspondant au rendement maximum.

Il faudra ensuite organiser un contrôle continu permettant de maintenir régulièrement cette marche économique.

Étude complète. Bilans thermiques. — Pour effectuer l'étude thermique complète de l'appareil, il faut établir sa situation au point de vue des échanges de calories dont il est le siège.

Des calories sont en effet apportées à l'appareil, soit par le combustible, soit par de l'air ou de l'eau réchauffés, soit par de la vapeur. Des calories sont emportées par les produits à cuire ou par la vapeur produite ou enfin par les différentes causes de pertes (excès d'air, fumées, imbrûlés).

Il faut établir la balance comptable de toutes ces calories, le *bilan thermique* de l'appareil.

A cet effet, on déterminera d'abord, d'une part les différents apports de calories, pour lesquelles le combustible intervient pour la plus grande partie, et, d'autre part, les différentes dépenses et pertes de calories. On dressera ensuite le bilan thermique de l'appareil sous la forme d'un tableau analogue à ceux que nous indiquons ci-après.

Il s'agit d'abord (Tableau I) du bilan thermique d'une chaudière; la balance des calories est ramenée à 100; les apports de calories, qui se réduisant aux calories apportées par les combustibles, sont rangés dans la première colonne; les différentes dépenses et pertes de calories, dans la seconde.

TABLEAU I. — BILAN THERMIQUE D'UNE CHAUDIÈRE (1).

	Recettes.	Dépenses.
Calories disponibles dans le combustible	100	
— utilisées à la surchauffe		9,9
— — à la vaporisation		58,9
— — à l'économiseur		6,6
— perdues par rayonnement		6,4
— — par les fumées neutres		8,9
— — par l'excès d'air		7,4
— — par les imbrûlés		1,9
	100	100,0

On peut tirer de ce bilan tous les renseignements précis que l'on désire, concernant le fonctionnement de l'installation, en particulier le rendement net de la chaudière, etc.

On peut également établir le bilan thermique d'un appareil plus simple et plus rudimentaire. Le bilan thermique d'un poêle d'appartement par exemple (Tableau II). Les recettes et les dépenses des calories sont rangées comme précédemment dans deux colonnes distinctes.

TABLEAU II. — BILAN THERMIQUE D'UN POÊLE D'APPARTEMENT (1).

	Recettes.	Dépenses.
Calories disponibles dans le combustible	100	
— utilisées		68,0
— perdues par chaleur latente des fumées		0,5
— sensible des fumées		22,5
— — par les imbrûlés		9,0
	100	100,0

(1) Tous les chiffres sont rapportés à 100 calories disponibles dans le combustible.

Dans le cas d'un four fonctionnant avec gazogène et récupérateur (Tableau III) on peut ou bien examiner le bilan thermique de l'ensemble de l'appareil, lequel correspond aux deux dernières colonnes du tableau, ou bien établir les bilans partiels de chacune des parties distinctes, gazogènes, four proprement dit, et récupérateur composant l'installation. On peut ainsi mieux se rendre compte dans les détails du fonctionnement des appareils.

TABLEAU III. — BILAN THERMIQUE D'UN FOUR CHAUFFÉ AU GAZ DE GAZOGÈNE, A SIMPLE RÉCUPÉRATION (1).

	BILAN PARTIEL		BILAN GÉNÉRAL	
	Recettes.	Dépenses.	Recettes.	Dépenses.
GAZOGÈNE.				
Calories disponibles dans 1 kg de combustible	100		100	
Chaleur latente des gaz		**53,8**		
Chaleur sensible des gaz		*19,5*		
Pertes par rayonnement		15,4		15,4
Pertes par imbrûlés des escarbilles		11,3		11,3
	100	100,0		
FOUR PROPREMENT DIT.				
Chaleur latente des gaz	**53,8**			
— sensible des gaz	*19,5*			
— apportée par l'air	**20,9**			
— emportée par les fumées		*63,5*		
— utilisée. / — perdue par rayonnement	.....	30,7		30,7
	94,2	94,2		
RÉGÉNÉRATEURS.				
Chaleur apportée par les fumées sortant du four	*63,5*			
— emportée par les fumées s'échappant par la cheminée		28,9		28,9
Chaleur emportée par l'air dans le four		**20,9**		
— perdue par rayonnement		13,7		13,7
	63,5	63,5	100	100,0

Quelle que soit d'ailleurs la complexité de l'installation, on peut toujours établir son bilan thermique soit global pour l'ensemble de l'installation, soit en le décomposant en une série de bilans partiels, correspondant à chacune de ses parties.

Le tableau IV représente le bilan complet figuré par les deux dernières colonnes et les bilans partiels correspondant aux deux colonnes précédentes d'une installation de moteur à gaz avec récupération de la chaleur des gaz d'échappement, dans des chaudières actionnant une turbine à vapeur

L'établissement du bilan thermique, relativement simple dans le cas des chaudières ou des fours ordinaires chauffés par combustible, pourra, il est

(1) Tous les chiffres sont rapportés à 100 calories disponibles dans le combustible.

vrai, présenter quelques difficultés lorsque plusieurs sources d'énergie seront en jeu, dans le convertisseur Bessemer par exemple, pour l'évaluation de l'énergie totale disponible; l'énergie chimique, en particulier, est fonction de la température et la chaleur de réaction, à une température donnée ne

TABLEAU IV. — BILAN THERMIQUE D'UNE INSTALLATION DE MOTEUR A GAZ AVEC RÉCUPÉRATION DE LA CHALEUR DES GAZ D'ÉCHAPPEMENT DANS DES CHAUDIÈRES.

	POUR 100 CALORIES CONTENUES DANS LE GAZ			
	Bilans partiels.		Bilan général.	
	Recettes.	Dépenses.	Recettes.	Dépenses.
MOTEUR.				
Chaleur totale des gaz	100		100	
Calories perdues par les gaz d'échappement		39.5		
— par frottement		3,9		3,9
— par l'eau de refroidissement		24,3		24,3
Rayonnement et autres pertes		4,5		4,5
Calories utilisées		27.8		
	100	100,0		
ALTERNATEUR.				
Energie disponible	27.8			
— utilisée		26,1		26,1
— perdue dans l'alternateur		0,7		0,7
— — dans l'excitation		0,2		0,2
— — dans les pompes		0,8		0,8
	27,8	27,8		
CONDUITE.				
Calories disponibles dans les gaz d'échappement	39,5			
— perdues par rayonnement		2,7		2,7
— transmises à la chaudière		36,8		
	39,5	39,5		
CHAUDIÈRE.				
Calories disponibles dans les gaz d'échappement à l'arrivée de la chaudière	36,8			
Calories utilisées. Économiseur		5.2		
Calories utilisées. Vaporisation		15.1		
Calories utilisées. Surchauffeur		2.8		
— perdues par rayonnement		2,7		2,7
— — par la cheminée		11,0		11,0
	36,8	36,8		
TURBINE.				
Calories disponibles dans la vapeur	23.1			
— perdues		19,4		19,4
— utilisées		3,7		3,7
	23,1	23,1	100	100,0

peut se calculer, que si l'on connaît les chaleurs des composants et des composés, des phases de la réaction; l'évaluation précise de l'énergie disponible sera donc dans ce cas assez délicate.

Quoi qu'il en soit, la méthode des bilans thermiques est tout à fait générale et pour bien montrer sa diversité d'application, nous avons cru intéressant de signaler (tableau V) un dernier bilan relatif à une colonne de concentration d'acide nitrique; nous trouvons toujours les deux colonnes relatives aux recettes et aux dépenses. Un simple coup d'œil jeté sur la balance des calories permet d'examiner si l'ébullition possible de l'acide nitrique peut être maintenue et par conséquent si la colonne peut effectivement fonctionner.

Tableau V. — Bilan thermique d'une colonne de concentration a acide nitrique.

L'acide nitrique AN à 50 p. 100 et l'acide sulfurique AS à 92 p. 100 sont introduits séparément à 15° environ, à la partie supérieure de la colonne.
La vapeur d'eau sèche est injectée à la base sous une pression de 2 kg : cm² (133°).
L'acide nitrique concentré à 86 p. 100 s'échappe en distillant à 120°.
L'acide sulfurique ramené à 71,3 p. 100 s'écoule à la partie inférieure à 170°.

	Recettes.	Dépenses.
Calories dégagées par l'AS en s'hydratant	38,70	
— par la vapeur d'eau en se condensant	49,85	
— — en se refroidissant	11,45	
Calories absorbées par l'AN en se concentrant		5,8
— — en s'échauffant		9,3
— — en se vaporisant		21,4
— par l'AS en s'échauffant		58,3
Calories perdues par rayonnement		3,0
— disponibles maintenant l'AN en ébullition		2,2
	100,00	100,0

Conclusions.

1° L'ébullition de l'AN concentré est assurée.
2° Il y aurait économie à introduire AS a 80° au lieu de 15° en utilisant les calories de l'AS résiduaire.

Le bilan thermique est aussi indispensable pour l'ingénieur qui veut améliorer la marche d'un appareil thermique, que la connaissance de la balance des recettes et des dépenses, pour le commerçant qui veut améliorer la marche de ses affaires.

Si l'on veut mieux utiliser ses calories, il faut avant tout connaître toutes les origines des pertes thermiques, afin de pouvoir les réduire en pleine connaissance de cause.

Il faudra donc, pour dresser un bilan, calculer les différents apports de calories, déterminer le pouvoir calorifique du combustible, les pertes par les imbrûlés des cendres et escarbilles, les pertes par les gaz s'échappant de l'appareil, les calories utilisées.

Un ingénieur bien entraîné peut effectuer toutes ces opérations assez rapidement et avec beaucoup de précision.

La détermination du pouvoir calorifique des combustibles sera faite au laboratoire au moyen de la bombe de Malher, les pertes par imbrûlés se déduiront de l'analyse des cendres.

Les pertes par les fumées d'analyse faite sur place au moyen de l'appareil d'Orsat et de mesures de températures prises au pyromètre.

La *trousse portative* de l'ingénieur de chauffage est donc relativement simple; elle se compose d'un appareil d'Orsat par exemple du modèle portatif construit par l'Office et d'un pyromètre thermoélectrique démontable, également construit par l'Office; l'appareil d'Orsat se réduit à un appareil à trois laboratoires et même parfois à deux, s'il s'agit seulement d'analyser les fumées d'un générateur de vapeur ne pouvant contenir que du gaz carbonique, de l'oxygène et de l'oxyde de carbone; dans le cas où les gaz à analyser peuvent contenir des hydrocarbures et de l'hydrogène, pour les gazogènes notamment, l'appareil est plus complet et comporte un dispositif de combustion en deux stades, combustion de l'hydrogène au contact d'un fil de palladium placé dans un tube de quartz chauffé au rouge et combustion des hydrocarbures dans un eudiomètre.

La trousse est parfois complétée par un indicateur de débit basé sur le principe du tube de Pitot, analogue à celui que construit l'Office, pour ses ingénieurs.

Fixation de la marche la meilleure. — Le bilan de l'appareil étant établi dans les conditions actuelles de fonctionnement, c'est de sa discussion et des conclusions qu'on en peut tirer, qu'il est possible de fixer les conditions de marche les meilleures.

En le comparant aux bilans déjà établis d'appareils analogues *bien réglés*, on verra sans ambiguïté, quelles mesures il faut prendre pour améliorer le réglage de l'appareil et quel bénéfice on peut espérer de cette amélioration.

Nous verrons plus loin, comment, d'après ces conclusions, il est possible de réaliser et de maintenir la marche optima de l'installation.

Mais, une fois ce réglage obtenu, il devient à nouveau indispensable d'établir le bilan calorifique de l'appareil dans ses nouvelles conditions de marche les meilleures. Dans ce cas, en effet, les conclusions tirées de l'examen du bilan de l'appareil bien réglé, permettront de juger de la valeur intrinsèque de l'appareil, de déterminer s'il peut être conservé tel quel ou s'il convient de l'améliorer, s'il nécessite quelques réparations spéciales, et, enfin, s'il doit être considéré comme incapable de donner un bon rendement par suite de dispositions défectueuses.

En particulier, la comparaison du nouveau bilan avec des bilans déjà obtenus pour des installations plus modernes, permet de chiffrer quelle

amélioration de rendement on peut espérer d'une transformation complète ou du remplacement des appareils par d'autres plus modernes et mieux perfectionnés. L'industriel peut être ainsi fixé d'une manière précise sur le temps nécessaire à l'amortissement de telle ou telle modification et pourra se décider en toute connaissance de cause.

Il n'est peut-être pas inutile de faire remarquer combien les conclusions tirées de l'examen des bilans sont infiniment plus complètes et plus précises, pour la conduite des appareils, que les seules données de rendement global, généralement fournies par les constructeurs : poids de charbon brûlé et de métal fondu par exemple pour les fours, poids de vapeur produite, par kilogramme de charbon pour les chaudières, qui sont tout à fait insuffisantes.

Les tableaux suivants représentent des séries de bilans établis par des ingénieurs de l'Office central de Chauffe rationnelle au cours de leurs interventions dans les usines.

Le tableau VI, correspond à une série de bilans de chaudières chauffées à la main. L'une d'elles, fonctionne dans des conditions déplorables. Elle n'a d'ailleurs ni surchauffeur, ni économiseur. Les pertes par imbrûlés sont formidables. Le bilan souligne des causes de mauvais fonctionnement et indique en même temps le remède à apporter; installation de surchauffeur et d'économiseur.

La chaudière n° 3, quoique possédant ces perfectionnements, a encore un très mauvais rendement; les pertes par rayonnement et par les fumées sont encore considérables.

La chaudière n° 2 a un rendement meilleur, cependant les pertes par rayonnement et par imbrûlés sont encore inacceptables.

La chaudière n° 1 est assez satisfaisante.

Le tableau suivant (tableau VII) représente une série de bilans de fours; le four n° 4 a un rendement très faible; les pertes par les fumées surtout sont considérables et montrent l'insuffisance du récupérateur.

Le rendement du four n° 3, quoique un peu moins mauvais est cependant encore très faible.

Le four n° 2 utilise mieux le combustible qui est du bois, mais les pertes par rayonnement dans les gazogènes et par les fumées sont encore beaucoup trop fortes.

Le four n° 1 est d'un fonctionnement assez satisfaisant, bien que les fumées emportent encore un trop grand nombre de calories.

Le dernier tableau (tableau n° VIII) comprend deux bilans se rapportant à des grilles mécaniques soufflées, l'une ordinaire, l'autre compartimentée.

L'exemple de ces bilans montre que malgré les avantages incontestables

des grilles mécaniques soufflées, les résultats obtenus avec les charbons actuels ne sont pas toujours satisfaisants.

TABLEAUX VI ET VII. — EXEMPLES DE BILANS THERMIQUES ÉTABLIS PAR LES INGÉNIEURS DE L'OFFICE CENTRAL DE CHAUFFE RATIONNELLE.

TABLEAU VI. — CHAUDIÈRES.

		(1)	(2)	(3)	(4)
CALORIES PERDUES (p. 100)	Rayonnemt	6,3	10,0	12.0	8.0
	Fumées	10,0	12,0	17.0	17.5
	Imbrulés	1,5	3,5	11.5	28.2
CALORIES UTILISÉES (p. 100)	Surchauffe	10,0	5,5	4.0	
	Vaporisation	64,2	63,7	50,5	46,3
	Économiseur	8,0	5,3	5,0	
Total		100,0	100,0	100,0	100,0

(1) Chaudière avec surchauffeur et économiseur bien comprise et fonctionnant bien.

(2) Chaudière avec surchauffeur et économiseur. Rayonnement et pertes par les escarbilles trop forts.

(3) Chaudière avec surchauffeur et économiseur. Rayonnement et pertes par les fumées et les escarbilles beaucoup trop forts.

(4) Chaudière sans surchauffeur et sans économiseur. Très mauvais fonctionnement. Pertes par les fumées beaucoup trop fortes. Pertes par les escarbilles énormes.

TABLEAU VII. — FOURS A SIMPLE RÉCUPÉRATION CHAUFFÉS PAR GAZ DE GAZOGÈNE.

		(1)	(2)	(3)	(4)
CALORIES PERDUES (p. 100)	Imbrulés	8,0	0.5	14.8	14.1
	Rayonnemt du gazogène	15.2	25.5	22.6	23.8
	Fumées	23.2	24.9	27.3	31.6
	Rayonnt des récupérateurs	5.2	9.7	6.1	5.3
CALORIES UTILISÉES ET CALORIES RAYONNÉES PAR LE LABORATOIRE (p. 100)		48.4	39.4	29.2	25.2
Total		100,0	100,0	100,0	100,0

Ces fours n'étaient pas employés pour le traitement des mêmes produits. Certaines différences sont dues à des nécessités de diverses industries.

(1) Bilan assez satisfaisant. Les pertes dans le gazogène (rayonnement et escarbilles) sont cependant exagérées.

(2) Four chauffé *au bois*. Pertes par rayonnement du gazogène, rayonnement des chambres et les fumées exagérées.

(3) Pertes dans le gazogène (rayonnement et escarbilles) et par les fumées exagérées.

(4) Pertes dans le gazogène (rayonnement et escarbilles) et par les fumées très exagérées.

Contrôle continu. — L'étude thermique complète de l'appareil ayant été faite, la meilleure marche à adopter ayant été fixée, il faut pour obtenir le meilleur réglage des appareils donner aux contremaîtres et aux chauffeurs, les moyens de se rapprocher le plus possible de cette marche optima.

Dans ce but, on leur fixera d'abord une règle de conduite bien nette des appareils, basée sur un petit nombre de prescriptions très simples et très précises explicitées dans les moindres détails.

On leur donnera ensuite la possibilité de mettre cette règle en pratique en munissant les appareils à conduire, d'instruments de mesure qui les

renseigneront d'une façon continue sur la marche réelle des appareils, et leur permettront de modifier éventuellement cette marche pour se rapprocher le plus possible des conditions théoriques.

Un système de primes bien organisé, permettra en outre d'intéresser les chauffeurs d'une façon plus tangible au bon fonctionnement des appareils.

TABLEAU VIII. — BILANS THERMIQUES DE CHAUDIÈRES AVEC GRILLE MÉCANIQUE UTILISANT DU MAUVAIS CHARBON.

GRILLE NON COMPARTIMENTÉE.

CALORIES PERDUES (p. 100)	Rayonnement		5.2
	Fumées	proprement dites	9.1
		excès d'air	13.4
	Imbrulés d'escarbilles		15.5
CALORIES UTILISÉES (p. 100)	Economiseur		8.0
	Vaporisation		48.8
		total	100.0

GRILLE COMPARTIMENTÉE.

CALORIES PERDUES (p. 100)	Rayonnement		7.0
	Fumées	Chaleur sensible	7.0
		Chaleur latente	6.5
	Imbrulés		4.5
CALORIES UTILISÉES (p. 100)	Economiseur		4.0
	Vaporisation		63.4
	Surchauffe		7.6
		total	100.0

Les instruments de mesure auront un autre but : non seulement ils permettront aux chauffeurs de bien accomplir leur tâche, et, à cet effet, les indications instantanées des appareils ordinaires seront suffisantes, mais en outre, les instruments de mesure renseigneront l'ingénieur sur la qualité du travail effectué ; ils seront en somme la *base* du contrôle de la marche effective des appareils ; à cet effet, des instruments enregistreurs seront, bien entendu, indispensables.

IV. — INSTRUMENTS NÉCESSAIRES AU CONTROLE DES APPAREILS DE CHAUFFAGE.

Nous avons vu que, tant pour l'étude préliminaire complète des appareils de chauffage, que pour le maintien ultérieur de sa bonne marche, il est indispensable de connaître un certain nombre de données caractérisant son fonctionnement :

Analyse et pouvoir calorifique du combustible;

Analyse et température en différents points des gaz combustibles et des fumées;

Poids et nature des imbrûlés;

Intensité du tirage;

Consommation du combustible;

Quantité de matière traitée;

Poids d'eau vaporisée, etc., etc.

Un très grand nombre d'instruments de mesures, enregistreurs ou non, ont été inventés pour fournir facilement toutes les indications nécessaires.

Puisque cette communication a précisément pour but d'annoncer l'exposition d'appareils servant au contrôle de la chauffe qui doit avoir lieu prochainement à l'Office central de Chauffe rationnelle, je passerai rapidement en revue quelques-uns de ces instruments les plus caractéristiques.

Ne pouvant les énumérer tous, je me bornerai à examiner ceux qui sont plus spécialement nécessaires au maintien de la bonne marche des appareils de chauffage; ce sont surtout ceux qui servent : à mesurer le tirage; à analyser les fumées; à évaluer la température en différents points des appareils.

Mesure du tirage. — La seule véritable façon de connaître le tirage dans un appareil de chauffage est de mesurer le débit d'air envoyé au foyer ou de gaz évacué à la cheminée.

Le problème est malheureusement difficile : les *tubes de Pitot*, *sondes de Venturi*, *anémomètres* placés dans un courant d'air, ne renseignent que sur un point de ce courant d'air, et la vitesse des différents filets gazeux est loin d'être uniforme.

On ne peut arriver à une solution satisfaisante que lorsque tout le courant gazeux est soumis à la mesure. M. Lebrasseur, directeur de la compagnie Sturtevant, a imaginé un dispositif pratique remplissant cette condition et applicable aux conduites de toutes dimensions; le *dispositif* Lebrasseur consiste en un ajutage convergent-divergent de Venturi avec manomètre différentiel à eau raccordé, d'une part, à la conduite normale, d'autre part, à l'étranglement. Il donne directement des lectures amplifiées suivant le rapport que l'on désire et permet de mesurer même de très faibles vitesses. Il convient pour tous les fluides liquide, gaz ou vapeur, après un étalonnage préalable.

Mesureur de débit. — Les appareils mesureurs de débit sont assez nombreux. Ils peuvent être classés en trois catégories bien distinctes :

Les appareils mus par impulsion;

Les appareils à flotteurs;

Les appareils mesurant une perte de charge.

Les premiers, les plus anciennement employés, notamment pour la vapeur, sont maintenant à peu près complètement abandonnés.

Les seconds, dans lesquels un flotteur règle automatiquement l'ouverture de passage du fluide, proportionnellement au débit, sont très pratiques et peuvent notamment indiquer directement les débits en unités de masse. Les appareils de Bundermann, Sargent, Baeyer, Saint-Joln sont les plus connus.

Nous mentionnerons plus particulièrement l'*appareil Rota*, dont le flotteur se soulève plus ou moins dans un tube vertical en verre légèrement conique suivant l'intensité du courant fluide; le flotteur, muni de petites encoches hélicoïdales, ne peut adhérer aux parois du tube, ce qui rend le fonctionnement de l'appareil très satisfaisant. Il peut de plus mesurer tous les débits depuis 5/100 de litre à l'heure jusqu'à 10.000 m^3 à l'heure.

Les mesureurs de débit de la dernière catégorie, basés sur la mesure d'une perte de charge par un manomètre différentiel sont très nombreux. Ils comportent l'emploi de tube de Pitot ou d'ajutage de Venturi, de formes et de dispositions variées; les manomètres différentiels employés sont égament de principes assez divers; dans tous les cas, la différence des pressions, mesurée par le manomètre, est proportionnelle à la vitesse du courant fluide; elle peut être lue directement sur l'appareil ou enregistrée automatiquement par l'intermédiaire d'un dispositif transmetteur généralement assez compliqué.

Nous citerons parmi les plus connus les *appareils Eckardt*, *Kent*, *Gehre*, *Integra*.

Dans un ingénieux *appareil*, imaginé récemment par M. *Piette* (1), la différence des pressions données par un tube de Pitot agit sur une bille de fer glissant à frottement doux dans un tube de cuivre en forme de quart de cercle bien calibré et poli à l'intérieur; cette bille, en se déplaçant, entraîne avec elle un aimant dont les deux pôles sont à l'extérieur du tube et qui porte une aiguille indicatrice, donnant ainsi le débit par lecture directe.

Un autre appareil du même inventeur, également très ingénieux et qualifié de *manomètre différentiel à indication magnétique* est basé sur un principe analogue. La partie inférieure d'un tube en forme de demi-cercle contient du mercure aux deux extrémités duquel surnagent deux billes de fer qui entraînent, comme dans le cas précédent, des aimants extérieurs portant une aiguille indicatrice.

(1) Voir son principe et sa description dans le *Bulletin* d'avril 1921, p. 321-324.

Déprimomètres. — Quoi qu'il en soit, la mesure des débits reste difficile; aussi au lieu de l'effectuer, se contente-t-on généralement de contrôler simplement la dépression en différents points du circuit.

La dépression renseigne en effet sur les variations de débit, ce qui, en général, est suffisant; on mesurera ainsi la dépression au-dessus de la grille du foyer; ou la dépression au-dessus de la grille et la pression au-dessous dans le cas de certaines grilles soufflées; ou enfin la différence entre ces deux pressions.

Les appareils facilitant ce contrôle sont des déprimomètres. Les constructeurs leur donnant cependant les noms les plus variés : *doseur d'air*, *contrôleur régulateur de chauffe*, etc... Ils peuvent être simplement indicateurs et, dans ce cas, l'appareil le plus simple consiste en un tube en U, communiquant à une extrémité avec l'enceinte dont on veut mesurer la dépression et à l'autre avec l'atmosphère.

Mais ils sont de préférence enregistreurs et généralement constitués par une cloche reposant sur un liquide et communiquant avec l'enceinte dont on veut mesurer la dépression; la forme de la cloche est étudiée de telle façon que son déplacement vertical soit amplifié par rapport à la dépression.

Il existe cependant de bons déprimomètres à sec, construits d'une façon analogue aux baromètres enregistreurs, c'est-à-dire utilisant les déformations amplifiées d'une boîte métallique à parois minces. Il sont en général moins exacts pour les dépressions faibles.

Analyseurs de gaz. — Pour contrôler la bonne marche d'un appareil on peut *analyser périodiquement* ses fumées à l'aide d'un appareil Orsat, en effectuant suivant les cas des analyses plus ou moins complètes. D'ailleurs, comme la teneur en gaz carbonique des fumées, est le meilleur indice d'une bonne combustion, on pourra généralement borner ce contrôle au seul dosage du gaz carbonique effectué périodiquement. Ce sont donc surtout les appareils analyseurs de gaz carbonique que l'on a cherché à réaliser en pratique.

Le problème, surtout en ce qui concerne les appareils enregistreurs est difficile, les instruments réalisés sont délicats. C'est pourquoi les inventeurs se sont ingéniés à utiliser les propriétés des mélanges gazeux les plus variés.

Les uns font appel aux propriétés physiques des gaz; il est possible, en effet, de déterminer par comparaison avec de l'air la teneur en gaz carbonique d'un mélange gazeux en mesurant les variations de poids ou de conductibilité calorifique ou d'indice de réfraction ou de viscosité, qui résultent de la présence de ce gaz carbonique dans le mélange.

On a recours plus fréquemment encore aux propriétés chimiques de l'anhydride carbonique. On détermine la quantité de gaz carbonique absorbée par de la soude ou de la potasse et cela, soit par mesure directe des volumes, à pression constante, avant et après absorption; soit par mesure des pressions, à volume constant, également avant et après absorption; soit par mesure de l'élévation de température du réactif absorbant; soit enfin, par mesure de la résistance électrique de ce même réactif.

Je me bornerai à énumérer les instruments employés en pratique.

Les appareils les plus couramment utilisés sont ceux qui permettent de mesurer le volume gazeux avant et après absorption. C'est sur ce principe que sont construits l'*appareil d'Orsat*, la *burette de Bunte*, et une vingtaine d'appareils enregistreurs (*Van Houtte*, *Brenot-Poulenc*, *Eckardt*, *Ados*, *Mono*. *Siemens-Abady*, *Pintsch*, *Bayer*, etc...) pour ne citer que les plus communs.

Ces derniers ne donnent pas des indications continues, mais une série d'indications très fréquentes, régulièrement espacées. Les volumes sont mesurés au moyen de cloches équilibrées ou à l'aide de compteurs différentiels.

On parle actuellement beaucoup de nouveaux appareils à indications continues :

L'un d'eux, le *catharomètre*, est basé sur la variation de conductibilité calorifique du mélange contenant le gaz carbonique; deux spires identiques, constituant deux des branches d'un pont de Wheastone, sont plongées l'une dans l'air, l'autre dans le mélange à analyser; la conductibilité calorifique des deux milieux gazeux n'étant pas la même, l'une des spires se refroidit plus rapidement que l'autre et il y a rupture d'équilibre; un galvanomètre enregistreur est monté sur le circuit et donne directement, par un étalonnage convenable, la teneur en gaz carbonique.

Cet appareil, mis au point par la Compagnie Cambridge, a paraît-il, donné d'excellents résultats.

Un autre appareil à indication continue, l'*unographe*, qui sera présenté pour la première fois en France par M. Izart à l'exposition de l'Office est basé sur les variations simultanées de viscosité et de densité du mélange gazeux. On fait passer le mélange successivement dans un long tube capillaire, puis à travers un orifice en mince paroi ; le passage dans le tube capillaire dépend de la viscosité du gaz; la traversée du diaphragme est fonction de sa densité. La perte de charge du courant gazeux qui résulte de ce double passage et que l'on mesure entre le tube capillaire et le diaphragme, sera donc caractéristique des deux propriétés physiques du mélange, viscosité et densité; si l'on compare cette perte de charge à la perte de charge subie par un courant d'air circulant dans un dispositif

analogue, au moyen d'un manomètre enregistreur différentiel très sensible, on pourra déduire directement de cette comparaison, et après un étalonnage convenable, la teneur en gaz carbonique du mélange initial.

Cet appareil donne aussi, paraît-il, d'excellents résultats.

Le dégagement de chaleur résultant de l'absorption du gaz carbonique par la potasse est utilisé dans un petit appareil anglais très ingénieux, le *thermoscope*. L'absorption se faisant au moyen d'une capsule tarée de potasse solide de poids constant, l'élévation de température de cette capsule due à l'absorption, est proportionnelle à la quantité de gaz carbonique absorbée. Dans ces conditions, la teneur en gaz carbonique d'un volume déterminé de fumées peut être donnée directement à l'aide d'un thermomètre à réservoir creux dans lequel on place la capsule de potasse.

Enfin, la variation de résistance électrique du réactif est utilisée dans l'ingénieux *appareil Chopin*. Une solution de carbonate de soude a une résistivité électrique trois fois plus élevée que la solution de soude caustique dont elle est issue; en mesurant la résistance électrique de la solution de soude avant et après barbotage d'un volume déterminé du mélange à analyser, on peut donc en déduire sa teneur en gaz carbonique.

En résumé, il existe un très grand nombre d'appareils analyseurs de gaz carbonique. Quoique délicats et coûteux, ils rendent déjà de très grands services dans l'industrie. Il y a cependant certainement de grands progrès à faire à leur sujet. D'une façon générale, on pourrait d'ailleurs reprocher aux analyseurs de gaz carbonique de ne constituer, par l'analyse des fumées, qu'un contrôle *a posteriori* de la combustion.

Il serait beaucoup plus intéressant d'avoir des instruments donnant à chaque instant des indications préliminaires sur la combustion et permettant ainsi un réglage *a priori* des appareils de chauffage. Nous nous bornerons à mentionner ici l'intéressant appareil imaginé dans ce but par M. *Grebel*, le *comburimètre*, qui indique continuellement, pour un combustible gazeux déterminé, la quantité d'air strictement nécessaire à sa bonne combustion.

Thermomètres et pyromètres. — Les thermomètres et pyromètres enregistreurs ou non sont, en général, des appareils simples et robustes.

Les *thermomètres à mercure* peuvent être employés jusqu'à 400°, 500° et même 600°; ils sont en particulier bien suffisants pour mesurer les températures des fumées des chaudières; on construit à cet effet des thermomètres à mercure solidement maintenus dans une gaine métallique.

Pour des températures un peu élevées ne dépassant pas cependant 700°, on peut utiliser des *pyromètres* basés sur la différence de dilatation entre deux solides, du graphite ou du quartz et un métal quelconque; ces instru-

ments sont peu employés. On leur préfère, de beaucoup, les pyromètres à gaz dans lesquels la variation de température est évaluée au moyen de la variation de pression, soit d'une masse gazeuse de volume constant comme dans les *appareils Richard*, soit d'une vapeur restante saturante, comme dans les *appareils Fournier*.

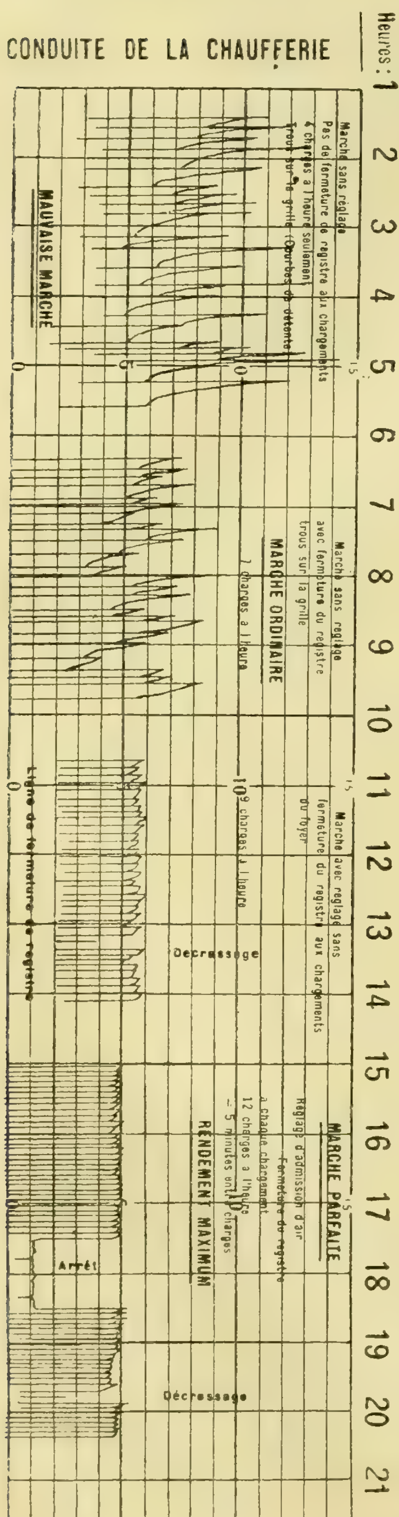
La mesure des températures plus élevées était autrefois assez difficile et on avait été conduit à ramener cette mesure à une échelle de température beaucoup plus basse, en employant les appareils calorimétriques, dans lesquels, par exemple, une masse métallique témoin, portée à la température à mesurer, était plongée dans un calorimètre.

Mais, actuellement, les *pyromètres optique* de Le Chatelier, de Wanner, etc., qui indiquent la température d'un corps d'après l'intensité d'une de ses radiations comparée à celle d'une lumière monochromatique étalon, permettent la mesure facile de toutes les températures comprises entre 700° et 4.000°; ils peuvent donner lieu cependant à certaines erreurs d'observation entre des mains inexpérimentées. Aussi, pour les températures inférieures à 1.400°, on préfère généralement employer, en pratique, les *pyromètres thermoélectriques* imaginés par *M. Le Chatelier* et basés sur la valeur de la force électromotrice d'un couple de deux fils métalliques différents dont la soudure est portée à la température à mesurer; ils sont robustes, faciles à construire et à manœuvrer, à la condition, toutefois, de ne pas dépasser à l'emploi, pour chaque nature du couple une limite de température bien déterminée :

500° pour le cuivre + constantan;
900° pour le fer + constantan;
1.000° pour le nickel + nickel-chrome;
1.100° pour le platine + platine iridié;
1.400° pour le platine + platine rhodié.

On emploie également assez fréquemment, en pratique, surtout quand la température dépasse 1.000°, le *pyromètre Féry*, dans lequel la source de chaleur dont on veut apprécier la température agit par rayonnement, d'une façon très ingénieuse, sur une petite pile thermoélectrique branchée sur un galvanomètre. Cet appareil présente l'avantage de pouvoir être manœuvré à distance et de servir pour une échelle de température très étendue, de 400° jusqu'à 3.500°. Mais son emploi peut comporter, malheureusement comme pour les appareils optiques, certaines erreurs d'observation.

Les pyromètres à résistances électriques, basés sur la variabilité de ces résistances avec la température, sont plutôt réservés aux mesures de haute précision ne dépassant pas 1.000°.



La plupart des pyromètres décrits, surtout ceux qui comportent l'emploi d'un galvanomètre, peuvent être enregistreurs.

De plus, dans le cas des appareils thermoélectriques, l'emploi simultané de plusieurs couples peut permettre l'inscription facile sur un même diagramme, des températures en plusieurs points d'un même appareil. Ils rendront donc, dans certains cas, de précieux services.

V. — Utilité des appareils de contrôle.

En terminant cette revue rapide des principaux appareils employés, je voudrais, en insistant sur un exemple pratique, montrer l'utilité réelle de leur emploi.

Nous avons vu par exemple que les déprimomètres enregistreurs donnent constamment la dépression au-dessus de la grille; cette dépression dépend, comme on peut le voir sur le diagramme ci-joint, de l'état des feux, du degré d'encrassement de la grille, de la position du registre, de l'ouverture de la porte du foyer, etc.

Le chauffeur doit s'inspirer de ces indications pour conduire son foyer, pour effectuer les chargements, pour régler le registre; il doit chercher à obtenir une courbe régulière avec une dépression peu élevée comme celle que l'on voit ici.

D'autre part, l'ingénieur, en examinant les diagrammes, pourra s'assurer si les chargements ont été faits régulièrement et rapidement, si les portes ne sont pas restées ouvertes inutilement, si le registre a bien été abaissé au moment de

la charge; une courbe irrégulière avec des dépressions très fortes est, comme on peut s'en convaincre d'après le diagramme, l'indice d'un travail défectueux. D'une façon générale, les appareils envisagés permettront aux chauffeurs de maintenir la marche qu'on leur a indiquée comme bonne, pour un combustible donné.

De son côté, l'ingénieur ou même le contremaître pourra, pour chaque nouveau combustible, en se rapportant au bilan primitivement établi, et en tenant compte des changements de composition du combustible, déterminer la nouvelle marche à adopter.

Cette adaptation exige, il est vrai, une connaissance assez complète des phénomènes du chauffage qui est d'ailleurs le but des cours pour ingénieurs de l'Office. Mais, même déjà les contremaîtres sortant de notre école pratique de chauffe sont capables de pouvoir mener à bien ce réglage.

En définitive, le contrôle continu des appareils de chauffage peut être utilement et facilement réalisé en pratique, grâce à l'emploi des instruments de mesure que nous avons décrits.

Il apparaît donc comme d'un très réel intérêt de les bien connaître et, dans ce but, je ne puis que vous engager à rendre visite à l'exposition d'appareils de contrôle de la chauffe de l'Office central de Chauffe rationnelle.

Vous pourrez voir fonctionner effectivement la plupart de ces appareils, les indicateurs de débit, les déprimomètres, les pyromètres, les enregistreurs de gaz carbonique, les compteurs de fluides divers, le comburimètre, seront également montrés en marche. Vous verrez en outre tous les autres appareils se rapportant de plus ou moins loin au contrôle de la combustion, les calorimètres, notamment la bombe à deux pointeaux Mahler-Damour, si précieuse pour la détermination rapide du carbone total, les appareils d'analyse des combustibles, etc.

VI. — Établissement pratique du contrôle.

Quelques mots encore avant de conclure.

En indiquant l'importance et la possibilité d'un contrôle dans la conduite rationnelle des appareils de chauffage, je me suis placé dans le domaine des réalisations immédiates permettant d'obtenir le maximum d'économies de combustibles possibles.

Je crois donc utile, en vue de l'établissement même du contrôle dans les usines, de présenter un peu plus complètement l'organisme qui, par sa création même, peut aider à le réaliser.

Quelques mots d'historique sont nécessaires.

A la fin de 1918, après plusieurs tentatives infructueuses, ayant pour but de réduire dans les usines le gaspillage du charbon qui résultait de l'intensification à outrance des fabrications de guerre, M. Loucheur, alors ministre de l'Armement et des Fabrications de guerre, était arrivé à la conclusion que seul, un organisme privé, aidé par l'État, et évitant tout caractère d'entreprise purement commerciale, pouvait agir *rapidement* et efficacement auprès des industriels pour les aider à entrer dans la voie des économies de combustibles réalisables.

C'est ainsi que l'Office central de Chauffe rationnelle fut fondé au début de 1919, avec des capitaux fournis par les anciens Groupements des Industriels de l'Armement et l'Office des Charbons des Secteurs d'Électricité de Paris, complétés par une subvention du Ministère de la Reconstitution industrielle.

A la liquidation des anciens Groupements des Industriels de l'Armement, les actions de l'Office furent réparties entre les industriels adhérents, de telle sorte qu'actuellement, l'Office est, pour ainsi dire, une association d'un très grand nombre de consommateurs de charbon dont le but fondamental n'est pas de faire des bénéfices, mais d'apporter une contribution effective à l'œuvre nationale pour laquelle il a été créé : la recherche et la réalisation des économies de combustible dans les usines.

A côté des *cours supérieurs* de son école où les ingénieurs envoyés par les usines et élèves sortant des grandes écoles viennent se spécialiser dans la pratique de l'établissement et de la discussion des bilans thermiques;

A côté de ses *cours pratiques* pour contremaîtres, où les chefs de chauffe et les chefs de fours apprennent la conduite économique des appareils de chauffage,

l'Office offre aux industriels son concours sous les formes les plus diverses et les plus efficaces en mettant à leur disposition :

soit ses *ingénieurs spécialisés* pour l'examen thermique des installations et pour l'établissement du contrôle tel que nous l'avons défini;

soit ses *professeurs et instructeurs* de l'école pour l'instruction sur place du personnel des fours et chaudières;

soit ses *laboratoires* pour les analyses de combustibles, les essais d'appareils, la fourniture après étalonnage et vérification de tous les instruments de contrôle;

soit, enfin, l'expérience de son *bureau d'études* pour les transformations importantes et les installations nouvelles.

Mais l'Office n'est pas seulement un organe de réalisation : par les recherches personnelles de ses ingénieurs, par les études dont il est chargé, par le Gouvernement et la Ville de Paris, par les conférences publiques faites chaque semaine à l'Office et par ses publications techniques, comme

Chaleur et Industrie, par les expositions enfin, comme celle qui s'organise en ce moment pour les appareils de contrôle de la chauffe, l'Office central de Chauffe rationnelle est en même temps un foyer de recherches pratiques et d'études relatives à la science du chauffage industriel, dans la voie que lui ont tracée les maîtres : Henry Le Chatelier, Charpy, Mahler et Damour, pour la recherche des économies de combustible dans les usines.

VII. — Conclusions.

1° Seul un contrôle méthodique de la chauffe peut permettre d'atteindre le rendement maximum des appareils de chauffage industriel;

2° L'étude scientifique de ces appareils doit servir de base à l'établissement de ce contrôle ;

3° Ce contrôle est pratiquement réalisable grâce à l'emploi d'appareils de mesure bien appropriés et avec le concours continu, ou tout au moins initial, d'ingénieurs compétents.

Dans ces conditions, la conclusion s'impose d'elle-même : dans un pays comme le nôtre, qui est et restera essentiellement déficitaire en combustible, il est d'une nécessité vraiment supérieure, d'encourager et d'aider les industriels dans leur intérêt même, comme dans celui du pays tout entier, à organiser puisque la chose est possible, le contrôle méthodique des appareils de chauffage dans leurs usines.

Paul Frion,
Ingénieur-Directeur de l'Office central de Chauffe rationnelle.

COMMENT NOUS LIBÉRER DU PÉTROLE ÉTRANGER? NÉCESSITÉ DE CRÉER UNE INDUSTRIE NATIONALE DES SUBSTITUTS DU PÉTROLE [1]

M. le Président, Mesdames, Messieurs,

Depuis ses premières applications à l'éclairage du pauvre, le pétrole a évolué. La mauvaise réputation de ce liquide noir, malodorant a commencé en 1871, sous la Commune, et s'est poursuivie en 1915-1918 lorsque nos ennemis imaginèrent des appareils diaboliques que j'eus l'honneur de perfectionner, sous la direction d'un éminent astronome que ses travaux sur le soleil prédestinaient sûrement à cette mission incendiaire. Aujourd'hui, nous voyons le pétrole passer des salons bourgeois aux salons diplomatiques, où il allume cette fois des foyers de discorde entre les grandes nations, soucieuses de le posséder pour prendre la première place dans l'histoire du siècle.

Permettez-moi, Monsieur le Président, de vous remercier ainsi que la Société d'Encouragement de m'avoir permis de faire cette communication, malgré la réputation d'indépendance que j'ai acquise dans ces dernières années. Je n'abuserai pas de l'hospitalité qui m'est offerte ni de la confiance que vous avez mise en moi. Je m'efforcerai simplement de vous exposer mes idées sur cette question brûlante du pétrole en les appuyant sur des faits et des chiffres.

Je dois tout d'abord justifier le titre que j'ai tenu à donner à cette communication.

Ce titre, je l'ai choisi, pour montrer avec force qu'il exprime un souci qui devrait être national, tant la résolution du problème qu'il implique aurait de conséquences pour la sécurité et la prospérité de notre pays.

Comment nous libérer du pétrole étranger?

Cette question nous amène immédiatement à en poser deux autres : 1° Pourquoi le pétrole est-il étranger? 2° Pourquoi devons-nous nous libérer du pétrole étranger? Ces deux questions une fois posées, on n'attend plus

1. Conférence faite par l'auteur en séance publique le 9 avril 1921.

que la réponse à la troisième : 3° Comment nous libérer du pétrole étranger?

C'est cette réponse que je vais essayer de vous donner après avoir brossé à grands traits la situation.

Pourquoi le pétrole est-il étranger? — Parce que, jusqu'ici, les Français n'ont pas fait l'effort suffisant pour le rendre français.

Et en premier lieu je dirai que certains moralistes ont exprimé que l'eau devait faire retour à la rivière et que, moralement, la richesse devait profiter à la communauté. En d'autres termes, que le riche devait jouer le rôle de dispensateur et réaliser des tâches que n'auraient pu accomplir les petits capitaux isolés.

C'est donc aux riches français que j'adresse ce reproche et non à la généralité de ceux qui se contentent peut-être un peu trop de gémir et de laisser faire. Je reviendrai sur ce point.

J'ai promis de rester dans les généralités, je ne me permettrai donc que d'exprimer le regret que l'on n'ait pas fait, chez nous, tout ce qui était nécessaire pour pouvoir affirmer qu'il n'existait pas de pétrole en France, car, enfin, qui peut l'affirmer?

Pour bien comprendre toute la valeur de ce reproche, il faut se rendre compte des énormes conséquences que cette inaction a pu avoir lorsque, dans les conférences internationales, la France, malgré son auréole de gloire, a été obligée de tendre la main avec la crainte qu'on lui dise : Aide-toi d'abord!

Certes notre grand La Fontaine, dans son immortelle fable de la cigale et de la fourmi, n'a pas voulu, j'en suis sûr, mépriser la cigale mais il a désiré lui montrer le chemin du devoir que la fourmi prévoyante, peut-être moins sympathique, n'avait pas oublié.

Malgré tous les reproches que nous pouvons adresser aux hommes politiques, permettez-moi de vous demander pour eux l'indulgence, lorsque, représentant la France dans des réunions internationales, ils sont obligés de trouver dans leur art oratoire, les excuses de notre coupable négligence nationale (1). En dehors de cette indifférence, quelles sont les raisons qui nous ont conduits à cette inaction, non seulement en France mais encore dans nos colonies?

Ignorons-nous donc que tout se paye et qu'il en a coûté des centaines de millions pour intéresser les capitaux sérieux ou timides dans les champs pétroliers qui servent actuellement à l'alimentation du monde entier.

(1) C'est d'ailleurs ce qu'affirmait M. le sénateur Mauger au Sénat, le 1er avril 1921, lorsque, faisant allusion à nos richesses nationales, il s'exprimait ainsi : « Il n'y a pas longtemps un Américain me disait : « Vous nous demandez de vous venir en aide financièrement, mais vous « avez chez vous des richesses immenses et vous n'en savez tirer aucun profit. Comment voulez-« vous que, dans ces conditions, nous vous venions en aide? ».

Qu'est-ce que ces pauvres malheureux millions que des sociétés se plaignent d'avoir engloutis aux colonies dans des affaires mal conduites où l'insuccès paraissait organisé.

Comment, d'autre part, expliquer, pendant la guerre, l'inaction de ceux qui avaient la responsabilité de concentrer l'énergie nationale sur les sources de productions indigènes et qui n'ont abouti qu'à protéger les importations étrangères, pour nous conduire aux accords internationaux que vous connaissez et qui font l'objet de notes ou de contre-notes extrêmement graves.

On a dit (tout au moins pour les colonies) que la législature minière n'avait guère été favorable aux chercheurs et que les quelques initiatives qui s'étaient aventurées dans les recherches avaient été victimes de leur dévouement.

Cette législation, d'apparence malthusienne, n'était-elle pas simplement retardatrice et protectrice d'intérêts étrangers?

En tout cas, M. Le Trocquer nous a promis, il y a 8 jours au Sénat, une modification de l'article 10 de la loi sur les mines assurant les avantages nécessaires aux prospecteurs de pétrole qui voudront prospecter.

Attendons cette heureuse réforme et souhaitons que, grâce à elle, les forages couvrent bientôt le sol de nos belles colonies. Espérons surtout que l'on songe aux gisements français avant de s'embarquer dans les gisements lointains.

Sur la question des possibilités de réussite en France, je voudrais dire deux mots et calmer les appréhensions que causent à M. Doumer les infortunes qu'il a rencontrées dans les colonies et qu'il rappelait au Sénat pour s'opposer à de maigres dépenses en territoire français, en vue de tenter quelques recherches misérables.

Au début du dernier semestre, M. Durandin, dans un admirable travail de bénédictin, dont j'ai rappelé bien souvent les débuts au cours de la guerre, a démontré la supériorité des sauvages et des animaux sur les hommes civilisés en matière de recherches de pétrole. Il a (grâce à la science nouvelle dite des indices toponymiques) indiqué sur la carte de France les nombreux points où le pétrole devait exister et j'ai eu la satisfaction de reconnaître parmi ces points ceux que j'avais moi-même indiqués dans mon rapport au Ministre du Commerce de 1917.

Or, malgré ces indices favorables, contrôlés par les légendes, par les animaux et par la science, c'est à peine si quelques recherches ont été entreprises, grâce aux maigres subventions de l'État qui viennent d'être accordées encore pour cette année avec une diminution notable de 1.000.000 f.

Ces tentatives louables, malheureusement mal conduites, ont à peine rencontré les premières difficultés, qu'on entend déjà les cris d'allégresse de

ceux qui prient pour leur faillite, alors qu'elles devraient faire l'objet d'un véritable culte, et même de souscriptions nationales tant elles sont nécessaires à la nation.

Comment a-t-on pu, au Parlement, laisser dire que de telles recherches devaient être faites grâce au patriotisme de quelques privilégiés fortunés qui n'ont jamais rien tenté aux moments les plus critiques; comme s'il s'agissait d'une action qui pouvait attendre et alors que nous continuons à rester à la merci de l'étranger pour la fourniture d'un produit indispensable à la défense de notre sol.

Comment appeler cette indifférence du Parlement responsable, insensible à l'indifférence des capitalistes français, lorsque l'on suit les efforts ininterrompus des pays étrangers pour la découverte de gisements dans les régions les plus éloignées et quelquefois les plus inaccessibles!

A la suite du rapport d'une nouvelle mission canadienne, les travaux abandonnés en 1914 près du Fort Norman vont être repris, cela après la réussite d'un seul puits ayant donné quelques milliers de barils de pétrole!

Or, savez-vous où se trouve le Fort Norman? près du lac de l'Ours et du Cercle arctique, à 1.500 km de toute voie navigable, à 2.000 km d'une ligne de chemin de fer, dans un pays où il fait un froid terrible durant 9 mois de l'année! Savez-vous comment on compte amener le premier matériel de forage? par avions! Déjà des sociétés anglaises et américaines se créent. On calcule qu'il faudra 50 millions de dollars pour établir une première pipe-line et on pense qu'elle ne sera pas suffisante; on parle de raffineries, etc.

Et après cela que dire des maigres sacrifices engagés depuis 20 ans sur le territoire de notre belle Algérie, placée à quelques centaines de kilomètres de la métropole, dans un pays merveilleux et accessible.

Je connais les arguments de ceux qui n'ont pas voulu jusqu'ici que l'Algérie soit pétrolifère, pour en acquérir les concessions à meilleur compte : indices insuffisants; — quelques puits improductifs; — maigres rendements....

Contre ceci je m'élève. Il en est des gisements algériens comme des gisements alsaciens. Les moyennes statistiques indiquent d'excellents rendements lorsqu'on les compare aux moyennes de tous les forages et de toutes les productions de grands pays producteurs comme les États-Unis, et non lorsqu'on les rapproche des productions de quelques puits jaillissants qui sont l'exception et qui servent surtout à la spéculation.

Ceci nous amène à discuter du rôle de la spéculation dans la naissance, dans la vie et la fortune des gisements pétroliers.

Ce sujet est un peu scabreux et demande à être traité avec beaucoup de

précautions. Vous pouvez compter sur ma prudence et sur un exposé qui ne sera que celui d'une succession de faits à peu près sûrs.

Il est un premier fait bien connu de tous ceux qui se sont occupés du pétrole, c'est que les débuts d'un gisement sont toujours extrêmement pénibles et que les champs actuellement florissants ont vu sombrer de nombreuses fortunes dans des forages malheureux.

Ceci est d'autant plus vrai que la science géologique n'est encore qu'à ses débuts et que les méthodes adoptées il y a quelque 20 ans pour le choix de l'emplacement des forages étaient fort incertaines.

C'est donc à l'affluence de capitaux mal employés, gaspillés dans le seul but d'obtenir des résultats propres à favoriser l'arrivée de nouvelles ressources financières, que sont dues en général les premières découvertes importantes.

Si l'on veut juger la valeur d'un gisement frais, comme c'est le cas du gisement algérien, il ne faut pas prendre le bilan des essais des premières années; mais comparer ce bilan à celui des premières années des bilans des gisements galiciens, russes, roumains et américains.

C'est seulement à la suite de nombreuses années de spéculation sur la vraie valeur du gisement, que le travail sérieux peut prendre place avec des capitaux sérieux venus pour profiter des dures leçons éprouvées par les pionniers et asseoir leur richesse sur les ruines accumulées par ladite spéculation. Tant que la science de la recherche du pétrole ne sera pas plus documentée, tant qu'elle ne consistera qu'en un art plus ou moins imparfait, il en sera ainsi. Doit-on plaindre les spéculateurs? Non, ils ne sont pas plus à plaindre que ceux qui perdent aux courses ou à la bourse. Doit-on empêcher la spéculation? Non, pas plus qu'on n'empêche les jeux de course.

Mais on doit, en tout cas, déplorer que cette spéculation se produise à l'étranger, avec des capitaux français, plutôt qu'en France, en Algérie ou dans nos colonies, où nous aurions au moins la consolation de tirer un profit de ces ruines.

Il est encore une autre cause de notre retard dans la participation aux recherches de pétrole en France et à l'étranger. C'est celle qui est due à l'absence d'un enseignement technique du pétrole qui aurait permis de former des ingénieurs, des chimistes, des géologues français, capables de suivre les travaux exécutés à l'étranger, de surveiller les capitaux français et de venir ensuite donner à nos nationaux l'amour des avantages du pétrole pour une nation industrielle.

Voilà, résumées, les raisons essentielles qui ont fait que jusqu'ici le pétrole est resté étranger : *manque de confiance ou indifférence*, *inaction*, *manque de spéculation et ignorance technique*.

Je choisis l'occasion de rendre hommage aux derniers gouvernements qui ont inscrit dans leur politique la formation de techniciens et la création d'écoles où se formeront des apôtres de la nouvelle industrie nationale. J'ajoute que ces écoles, si elles devaient servir à instruire des ingénieurs seulement pour l'étranger; rempliraient néanmoins un rôle utile. Je souhaite même que ces écoles aient des prolongements à l'étranger sur les gisements exploités; parce que, véritables Villa Médicis du pétrole comme le disait de Pawlowski, elles contribueraient à affirmer une fois de plus le bon renom de la science française à l'étranger, surtout dans une science où les qualités intuitives de notre race seraient précieuses, puisque là il faut sentir et savoir se débrouiller.

Pourquoi devons-nous nous libérer du pétrole étranger? — Il ne me semble pas nécessaire d'insister sur ce redoutable problème que j'ai envisagé à Verdun dès les premiers jours de la mobilisation, lorsque, spectateur du gaspillage qui ne faisait que commencer, je songeais aux maigres stocks que nous possédions pour alimenter nos armées et la population civile.

A ce moment, je tremblais surtout pour les usines de Rouen vers lesquelles les Allemands se ruaient déjà, suivant un plan mûrement étudié, peut-être bien par des ingénieurs allemands dont je ne m'expliquais pas les séjours prolongés, à la veille de la guerre, dans une ville qu'ils disaient admirer pour sa cathédrale. Nous avons vu le sort qu'ils firent aux cathédrales et nous sommes fixés sur celui qui attendait les églises de Rouen, si les Anglais n'étaient pas accourus sur la Marne.

L'importance du pétrole en temps de guerre, sous toutes ses formes, a été suffisamment développée ici par un marin, M. Dumanois (1), qui nous a rappelé que les hommes préhistoriques inventèrent la guerre pour la conquête du feu. Tout le monde sait désormais, après ce qui a été publié sur ce sujet, qu'il ne peut plus y avoir d'aviation, d'automobiles, de sous-marins,... sans essence et pétrole. Nous n'ignorons pas, et nous n'avons pas l'air cependant de nous en inquiéter, que la suprématie sur mer appartiendra à la marine qui, grâce au pétrole, ira le plus loin et le plus vite.

Tout cela est si vrai et si connu que je me demande même pourquoi on n'a pas songé plutôt à rendre la menace de l'aviation allemande impossible, en laissant les Allemands construire des avions, mais en surveillant les matières sans lesquelles ils ne peuvent voler. Supposons l'Allemagne sans pétrole que pourrait-elle faire avec ses avions et ses automobiles? On a répondu que, ce jour-là, les Allemands sauront fabriquer eux-mêmes les

(1) Voir *L'intérêt et l'utilisation des combustibles liquides*, par M. Dumanois, dans le *Bulletin* de juillet-août 1920, p. 436 à 457.

produits dont ils auront besoin. Mais si ceux qui nous dirigent et certains industriels pensent qu'il est possible à l'Allemagne, tributaire comme nous de l'étranger pour son pétrole, de s'en passer tout à coup, pourquoi, nous Français, ne ferions-nous pas de même? Ce qui est possible aux Allemands serait-il impossible aux Français?

Mais avant de chercher à nous libérer du pétrole étranger il faut savoir pourquoi cela est nécessaire car, enfin, s'il est vrai que le pétrole soit actuellement entre les mains de grands trusts étrangers, ceux-ci ne battent-ils pas pavillons alliés?

Je me garderai bien d'engager une controverse à ce sujet avec la génération spontanée de pétroliers littérateurs qu'a fait surgir cette question. Je tiens simplement à profiter de l'occasion qui m'est offerte de parler dans un milieu aussi éclairé, pour le mettre en garde contre ces belles pages littéraires remplies de cris d'alarme, d'indignation, d'admiration, qui émeuvent et confondent tant qu'on n'a pas lu la brochure suivante. Car c'est bien là la morale de cette littérature; c'est qu'elle diffère dans ses attendus, sinon dans ses conclusions, suivant la nationalité de l'animateur. Et c'est pourquoi j'estime qu'elle est dangereuse lorsqu'elle s'adresse à l'opinion publique qui ne peut évidemment tout lire.

Cette mission de lecteur complet, je l'ai remplie, et ma conclusion est qu'il ne faut pas confondre amitié et intérêt. En cette matière, la France ne doit pas sortir de son rôle de grand consommateur que l'on flatte également parce qu'elle possède les plus beaux soldats du monde. Dans une question aussi internationale que celle du pétrole et qui groupe des intérêts financiers aussi considérables, il est inévitable de dégager les questions d'intérêt et de sentiment.

Les grandes affaires ne peuvent concilier les grands devoirs envers l'humanité avec les obligations qu'elles ont envers leurs actionnaires. Isolons les sentiments des réalités et n'acceptons les belles manifestations de sympathie qu'en leur accordant la valeur commerciale qu'elles représentent. En opérant ainsi, nous serons plus sûrs d'atteindre la vérité et nous nous rallierons peut-être à cette conclusion qu'après les épreuves de guerre et de paix, il devient nécessaire pour la France d'assurer sa sécurité en recherchant les moyens d'acquérir une réelle indépendance dans le domaine des matières premières indispensables à la défense de son sol et à la nourriture de ses enfants.

Comment pouvons-nous nous libérer du pétrole étranger? — Parmi les matières premières indispensables à la défense nationale, le pétrole sous toutes ses formes est, sans contredit, une munition sans laquelle toute réponse

à une attaque armée sur terre, sur mer, par air, serait impossible. Comment donc se procurer cette matière ou des produits de substitution sans recourir à l'aide de puissances financières qui, par définition, sont internationales et dont les intérêts peuvent dépasser les limites de ceux des nations qu'elles ont choisies comme port d'attache?

Ce problème de notre indépendance est-il insoluble? S'il en est ainsi, il ne nous reste plus qu'à mettre bas les armes et à nous préparer à l'attitude de vaincus ou de peuple de deuxième grandeur.

Si la France veut rester la France, il faut qu'elle produise son pétrole, il faut qu'elle s'assure des moyens industriels que ne pourront remplacer la valeur et l'héroïsme de ses soldats.

Produire chez soi et pour soi est d'ailleurs une doctrine qui paraît devenir nationale en matière de pétrole, même dans les pays que la nature a généreusement pourvus et qui, en prévision de projets grandioses, n'hésitent pas à se lancer dans la voie des économies et des industries des succédanés, tels que les huiles de schistes, les huiles de houille, les alcools agricoles et synthétiques, etc., et même les gaz comprimés.

Mais cet exemple d'activité, nous le retrouvons avec encore plus d'intensité chez les peuples privés de pétrole ou chez ceux qui pourraient être privés du pétrole de leurs concessions à l'étranger.

Car l'objectif que nous poursuivons n'est pas d'assurer l'approvisionnement de la France en temps de paix grâce à une politique analogue à celle de l'Angleterre, mais bien de lui procurer le pétrole dont elle aurait besoin si elle venait tout à coup à être séparée de ses sources actuelles d'approvisionnement, malgré la sympathie des trusts et malgré des conventions internationales dont nous apprécions tous les jours la fragilité et l'impuissance.

Revenons à la réponse que je prêtais tout à l'heure aux ministres à qui je proposais de contrôler les importations de pétrole allemandes, en vue de nous garantir des avions de commerce et des automobiles allemands. Voyons donc ce que ferait l'Allemagne et j'ajoute, voyons ce que fait l'Allemagne.

L'Allemagne commencerait évidemment par dresser un plan méthodique, un programme de réalisation. J'ai dit qu'il n'était pas nécessaire d'être allemand pour faire un programme méthodique. Essayons de le prouver.

Techniquement, ce programme pourrait être divisé en quatre grands chapitres traitant des moyens de fabriquer en France avec des matériaux indigènes : les *carburants*; les *produits d'éclairage*; les *produits lubrifiants*; et les *produits combustibles* dont nous avons normalement besoin, c'est-à-dire correspondant à des consommations minima.

La France et ses colonies peuvent fournir les substituts du pétrole.

Les lubrifiants. — Les produits lubrifiants sont parmi les dérivés du pétrole, ceux qui ont, à mon sens, le plus d'importance.

S'il est possible de s'éclairer sans pétrole, de se chauffer sans pétrole, de faire tourner des moteurs sans pétrole, rien ne peut se substituer aux huiles lubrifiantes dans la transmission des efforts au moyen de pièces mécaniques. Si on en doute, on peut demander aux Allemands ce qui leur a manqué le plus, vers la fin de la guerre, des carburants ou des huiles lubrifiantes. Heureusement, si les huiles lubrifiantes sont indispensables, elles sont par définition inusables.

Il est donc toujours possible d'en réduire la consommation par de sages économies et par des récupérations appropriées. Il en résulte que le tonnage limite à prévoir pour la France avec toutes les précautions nécessaires, peut être réduit à 150.000 t environ, par an et même moins.

Je ne vois pas, quant à moi, l'impossibilité d'assurer ces besoins au moyen d'un retour à la culture des colzas et des ricins dont on se servait avant la découverte des huiles minérales (A).

Les nouveaux procédés d'hydrogénation permettraient de donner à ces huiles toute la gamme des viscosités nécessaires à l'industrie. Voici pour le règne végétal.

Quant au règne minéral, n'avons-nous pas entendu ici M. Pictet nous professer que les houilles, les lignites, les tourbes, étaient capables, à basses températures, de produire des huiles grasses analogues à celles de pétrole.

N'avons-nous pas appris au surplus que ces distillations dites froides, avaient été appliquées largement par les Allemands sur les lignites pendant la guerre, et que cette industrie de guerre s'était même transformée en industrie de paix, au point de fabriquer des huiles qui donnent lieu à des contestations entre les fabricants allemands et certaines douanes des pays où ils cherchent à les exporter.

Ces sources possibles de production, dont la seconde rentre dans le cadre de l'industrie de la carbonisation que nous aurons à considérer d'une façon générale, sont assez rassurantes; surtout si l'on y ajoute les possibilités de fabrication de graisses animales et minérales, telles que celles qui utilisent le talc ou la plombagine.

Aussi, en présence des prix très élevés de ces huiles minérales dus à la limitation de la production américaine (B), par suite de la destruction des usines russes, n'est-il pas invraisemblable que notre agriculture française ait pu se désintéresser d'un aussi riche débouché pour des produits d'une culture

facile en France et favorable à la culture du blé. Ceci au moment où les États-Unis voient leur consommation en huiles augmenter dans des proportions effrayantes, et tandis que leurs pétroles bruts riches en produits lubrifiants disparaissent, pour céder la place à des huiles asphaltiques de Californie. Ne serait-il pas de bonne politique pour notre ministre de l'Agriculture de provoquer le développement de la culture des graines oléagineuses, pendant que le service des Mines favoriserait les industries de carbonisation.

J'ajoute que ce programme fut proposé à un moment très critique qui aurait justifié sa réalisation immédiate. Nous étions fin 1917 et nous n'avions plus de ricins pour l'aviation. Je me souviens de la stupeur qui s'empara de tous à cette nouvelle, mais on n'y pensa bientôt plus, lorsque les ricins coloniaux purent arriver à nouveau.

Les carburants. — Le problème des carburants a fait, au cours de ces dernières années, l'objet de nombreux interventions et discours au Parlement et ailleurs.

Comme seul exemple, je citerai la discussion qui fut engagée, le 2 juin 1920, au Sénat. — Au cours de celle-ci, il fut bien question d'intérêt national, de sécurité nationale, qu'il fallait sauvegarder sans délai (C).

M. Bérenger qualifia de *crime national* le fait de ne pas développer la production des substituts de l'essence.

A ce même sujet, il apporta l'affirmation à la tribune que la question de l'alcool carburé au benzol à 50 p. 100 avait été résolue techniquement et que, bien avant la guerre, les autobus avaient fonctionné 18 mois avec ce mélange.

Il montra enfin le rôle que pourraient jouer les substituts de l'alcool (D) dans la sécurité nationale, comme carburant et comme dissolvant pour les poudres, et il rappela que le benzol avait été retiré des essences de Bornéo ; en omettant de dire, cependant, que la plus grande partie de ce benzol avait été gaspillée et qu'on avait importé trois fois plus d'essences de Bornéo qu'il en aurait fallu si on avait utilisé les méthodes scientifiques de rectification ou de traitement qui avaient été indiquées.

Or, nous ne sommes pas loin du 2 juin 1921, et je me demande ce que l'on a fait depuis un an en vue de nous défendre contre l'étranger en dehors de cette abominable taxe intérieure de 20 f l'hectolitre qui s'ajoute aux prix déjà excessifs de nos pétroles et de nos essences, taxe qui remplit peut-être les caisses du Trésor mais derrière laquelle ne s'est même pas abritée l'industrie des succédanés de l'essence.

Car les succédanés du pétrole sont abondants, et, à vrai dire, nous n'aurions que l'embarras du choix si chacun d'eux pouvait à lui seul se substituer sans inconvénient aux essences en totalité.

Ces succédanés peuvent ou bien être retirés des produits de la carbonisation, de la houille (E), des schistes (F), des lignites (G), des tourbes, du bois, ou bien être produits par la fermentation de matières alcooliques, comme le sucre ou la cellulose convenablement traitée (H).

Ils peuvent encore provenir de la synthèse organique, soit en partant de l'acétylène dérivé du carbure de calcium (I), soit de l'éthylène contenu dans les gaz de houille (J), soit enfin des hydrocarbures non saturés que l'on obtient lors de la transformation des huiles lourdes en essence dans les procédés de cracking et dans la distillation des schistes bitumineux (K).

Ajoutons qu'il est possible de concevoir des moteurs fonctionnant à ce gaz, libre ou sans pression, ou à l'état de dissolution (L).

Et, enfin, que les moteurs à gaz pauvre ou à gazogènes portatifs ne sont pas seulement réservés aux usages fixes, mais qu'il existe des types de modèles réduits transportables et utilisables à bord des automobiles ou des embarcations que l'on a bien tort de ne pas envisager en présence des hauts prix des essences (M).

A ce point, je rappellerai les nombreuses interventions faites notamment par mon ami Grebel en faveur de l'emploi du gaz comprimé que vient de remettre en actualité M. Neu dans un numéro de mars de *Chaleur et Industrie*.

Dans cette étude, il nous indique entre autres que 16 m³ de gaz équivaut à 1 l d'essence, et que le poids du réservoir ressort à raison de 5,050 kg par cheval-heure au lieu de 25 kg pour les meilleurs accumulateurs électriques.

Dans les deux cas, le poids mort du contenant est évidemment une grave question qui s'est opposée jusqu'ici à la réalisation de cette intéressante utilisation ; mais il me semble qu'elle peut être résolue par un moyen unique : la bouteille ou l'accumulateur standard interchangeable, pouvant être pris ou repris dans tous les garages à certaines conditions, bien simples lorsqu'il s'agit de bouteilles, peut-être un peu plus compliquées lorsqu'il s'agit d'accumulateurs, mais qui doivent être résolues en raison de l'importance des avantages qui en résulteraient.

Le jour où cette banalisation sera un fait accompli, l'avenir du gaz comme carburant pour moteur mobile sera assuré.

Il le sera également pour les accumulateurs, et cette belle énergie latente de nos forces hydrauliques nationales aura d'un seul coup rompu toute attache avec la centrale électrique.

Ce mode de distribution par bouteille et accumulateurs mérite certainement d'être étudié par la motoculture, qui réclame des carburants bon marché, mais surtout évidemment pour les automobiles et nous souhaitons la création d'une société ou d'un syndicat de sociétés pour la construction de bouteilles à gaz et d'accumulateurs électriques d'un type unique, national, qui nous

permettraient d'utiliser la houille blanche avec autant de commodités que l'essence.

Ainsi, de nombreuses possibilités s'offrent à nous et l'on reste surpris, qu'avec les hauts prix de l'essence qui font élever de vives protestations parmi les consommateurs, l'automobilisme, la motoculture et tous ceux qui sont intéressés à leur prospérité n'aient pas agi, au lieu de se plaindre, dans les diverses directions précitées.

Si la plupart des substituts que nous venons d'indiquer n'avaient pas de raison d'être avant la guerre alors que l'essence de pétrole étrangère était relativement bon marché, *il n'en est plus de même maintenant que l'essence est chère* et que nous devons songer à nous libérer d'importations qui nous lient et nous bâillonnent.

Devant une telle situation, lorsque la sécurité de la nation est en jeu, la question du prix de revient des essences n'importe pas plus que celle du prix de revient des canons, des fusils, des forts et des cuirassés. Il nous faut des carburants comme il nous faut des canons et des munitions, mais cette fois avec cette différence que les carburants indigènes présentent l'avantage de pouvoir servir utilement en temps de paix (N).

Dans ces conditions, je conçois très bien pour le Gouvernement, le double moyen de contrôler le prix des essences étrangères et d'assurer les moyens de défense de la nation en encourageant, en protégeant (mais sans les diriger) la création d'industries nationales des succédanés que nous venons d'énumérer et dont l'ensemble constituerait ce véritable carburant national que j'avais proposé dès 1917 à M. le Ministre du Commerce. Grâce à cette solution : au lieu de capitaux immobilisés sous forme de stocks énormes qui seront toujours insuffisants, si la guerre prochaine dure comme la précédente, des usines fonctionnant à la demande, travaillant pour le bien du pays et n'ayant besoin que d'être encouragées par des moyens divers, comprenant même des subventions à porter au chapitre du Budget de la guerre.

Je laisse le soin de réfléchir sur l'opportunité d'une solution qui unirait à la fois l'agriculture et l'industrie dans un but commun, comme vient de le prédire ces jours-ci M. le Marquis de Vogué à la Société des Agriculteurs de France.

Dans son discours inaugural à l'Académie des Sciences, notre président. M. Lindet, n'a-t-il pas cherché à montrer l'importance que présentait pour l'Agriculture la question de l'alcool industriel, seul débouché moral, pour une certaine culture des produits auxquels elle donne naissance, si l'on persiste à vouloir tirer l'alcool de la betterave.

Car sur ce point je suis en désaccord avec lui, qu'il me le pardonne. Si le prix de l'alcool est resté extrêmement variable et élevé, cela ne tient pas seu-

lement à la spéculation qui s'est emparée de ce commerce; mais encore au choix des matières premières qui servent à le fabriquer.

A mon sens, il ne viendrait jamais à l'idée de personne de faire de l'alcool d'industrie avec des grands crus; pourquoi donc faire de l'alcool d'industrie avec le sucre de betterave dont le prix est le plus élevé. Pourquoi ne pas chercher d'autres sucres végétaux bon marché ou produits par des transformations de végétaux abondants.

Pourquoi, en temps de paix, ne pas installer les grandes distilleries d'alcool dans les ports les mieux reliés à nos colonies et dans lesquelles on distillerait les sucres de fruits coloniaux desséchés au soleil, comme l'a proposé M. Barbet à maintes reprises et comme je l'ai réclamé chaque fois que l'occasion s'est présentée?

Que celle-ci s'ajoute aux précédentes.

Permettez-moi de signaler quelques chiffres. La production de la tourbe qui s'est élevée, cette année, de 200.000 t à 900.000 t et qui, d'après les essais en cours chez M. Gaston Menier peut fournir à la distillation 20 kg de benzol à la tonne. A cette teneur, nous aurions pu, cette année, produire 18.000 tonnes de benzol et comme les réserves visibles de tourbe, s'élèvent à 200 millions de t. elles représentent une réserve de carburants et d'explosifs de 4 millions de tonnes que l'on pourrait peut-être utiliser.

Si j'ajoute à ces renseignements ceux que l'on peut tirer des fameux procédés d'utilisation des sciures et des menus bois dont des quantités énormes sont perdues chaque année, et que je me reporte à la dernière conférence de M. Mignonac qui nous affirme que l'on peut produire de l'alcool synthétique à 98° à 60 f l'hectolitre. Nous voyons que mes hypothèses de réalisation d'une industrie nationale reposent sur de sérieuses fondations et qu'elles complètent heureusement les grands projets qui, comme ceux de M. Métivier, envisageaient la carbonisation nationale de toutes les houilles. Cette carbonisation pour mon compte, je la désirerais obligatoire ou favorisée financièrement par ceux qui s'entêteraient à utiliser la houille là où le coke peut rendre les mêmes services. Les hydrocarbures utiles subissent bien un droit intérieur de 20 f; il pourrait en être de même pour les houilles, mais à la condition que cet impôt rentre dans les caisses de cokeries et non dans celles de l'Etat.

Les pétroles lampants. — A part certaines applications bien déterminées, il existe suffisamment de moyens indigènes de s'éclairer pour que je puisse m'élever contre les importations d'un pétrole qui a cessé d'être l'éclairage du pauvre depuis qu'il est vendu 2 f le litre.

A part l'électricité et le gaz, n'aurions-nous pas cent autres moyens de

nous éclairer, ne serait-ce qu'en employant cet alcool que nous signalions comme carburant, ou bien même cette huile de colza qui suffisait à nos pères alors qu'ils ignoraient l'électricité.

Sur ce point, ce ne sont pas les succédanés qui manquent et je suis bien sûr qu'une prohibition d'importation des huiles lampantes de pétrole, dont on importe chaque année plus de 4 millions d'hectolitres, coût 600 millions, n'amènerait la révolution que chez nos agriculteurs qui devraient nous fournir, grâce au soleil, qui ne coûte rien, l'éclairage dont nous avons besoin, souvent par habitude.

D'ailleurs, si j'en crois certaines statistiques, je pense que nous ferions bien de songer à cette éventualité de la disparition du pétrole lampant que nous retrouvons déjà en queue de nos essences, dites poids lourds, parce qu'elles deviennent de plus en plus denses; tandis que les huiles lourdes s'améliorent du complément.

Il y aurait aussi opportunité à construire des moteurs à pétroles dits lampants, dont il existe bien quelques types, mais dont la technique a désormais pris trop de retard sur celle des moteurs à essence ou des moteurs que je me contenterai d'appeler à combustion, parce que tout le monde sait qu'elle doit être interne pour fournir de l'énergie.

Ainsi, l'éclairage du pétrole, qui se justifie en temps de paix, ne peut être bien souvent considéré que comme un luxe et *son absence totale pendant le temps de guerre ne nous obligerait pas fatalement à rendre les armes.*

Dans ces conditions, la solution de la question du pétrole lampant peut se résoudre par suppression ou par remplacement, ce qui revient à peu près au même.

Les combustibles liquides. — Les combustibles liquides, qui comprennent les résidus de pétrole et ce fameux mazout qui fut si profitable aux actions de la Royal Dutch Co, ont évidemment des avantages sur les combustibles solides. Je n'insisterai pas sur ces avantages : tous les journaux, de quelque opinion qu'ils soient, ont fait l'éducation du public sur ce point.

Mais l'avantage du combustible liquide qui, pour le moment, doit retenir le plus notre attention est celui de ne pas être rigoureusement indispensable. Après cette découverte d'une commission officielle, que le bois est un combustible qui peut se substituer à la houille ; je puis bien, à mon tour, déclarer que la houille peut se substituer au pétrole lorsque celui-ci manque et coûte cher, comme c'est le cas pour l'instant.

Mais il ne faudrait pas croire, cependant, que je considère la question du

combustible liquide comme peu importante, car il est des applications où sa supériorité éclate avec une telle évidence que des nations se regardent pour lui actuellement avec des attitudes courroucées (O).

Si donc nous écartons la nécessité d'alimenter une flotte de guerre et une flotte commerciale, comme ce fut le cas de l'Allemagne de 1914 à 1918, nous voyons que les seules utilisations des combustibles liquides se borneraient à celles que nous pouvons trouver à l'intérieur du pays et dont l'essor en temps de paix dépend infailliblement du prix de revient de la calorie, sauf dans des cas bien déterminés ou dans les applications de luxe (P).

Ainsi le problème se trouve lumineusement départagé. En temps de paix, dans nos ports, pour notre navigation et pour nos industries des ports, importons donc des huiles lourdes et des résidus autant que leurs prix leurs permettront de concurrencer la houille. *Mais cherchons avant tout à créer une production indigène en utilisant les ressources naturelles dont nous disposons.*

Il est d'un intérêt national que ces vastes centres de production et d'importation se créent et s'organisent; mais je demande pour eux la grâce des commissions officielles d'hygiène ou de classement qui les assassinent de réglementations trop sévères dont je démontrerai l'inutilité le jour où j'aurai, comme je me le propose, prouvé que l'on peut éteindre le feu avec du mazout.

Qu'on me permette cette observation en passant, parce qu'elle en vaut la peine. C'est que le danger présenté par un réservoir contenant des pétroles lourds et même légers (je n'ai pas dit d'essence) est d'autant plus faible que le réservoir est plus grand (or cette erreur d'appréciation est commise à raison de 100 p. 100 par les règlements qui proportionnent les risques au volume de substances entreposées)! Ceci n'est pas le seul avantage des combustibles liquides car j'ajoute qu'il est beaucoup plus facile d'extraire du pétrole au milieu même d'un foyer d'incendie, par les pompes et canalisations toujours existantes, que de retirer des tas de charbon qui peuvent également s'y trouver.

Pour conclure j'estime que toute l'énergie de nos industriels doit se concentrer sans retard sur *la carbonisation de toutes les substances que j'énumérais au chapitre des carburants et lubrifiants, qui produirait des quantités déjà très importantes de goudrons résiduels suffisants pour satisfaire aux premières nécessités de paix de nos industries et pour contenter en tous cas nos industries de guerre.*

Par un heureux effet, il se trouve donc que le problème vital des carburants et lubrifiants se trouve intimement lié à celui des combustibles liquides qui lui sert de corollaire et que les dispositions heureuses qui pourraient

être prises en faveur du développement d'une industrie nationale des carburants tendraient du même coup à satisfaire aux 3 groupes de produits dont nous venons de nous entretenir.

Comment se libérer du pétrole étranger?

Nous pouvons nous libérer du pétrole étranger :

1° en le brûlant bien, pour en consommer le moins possible ;

2° en substituant aux dérivés du pétrole les produits analogues mais français, qui existent séparément peut-être en quantités insuffisantes pour lutter isolément contre le pétrole, mais dont le nombre et la diversité garantiraient l'issue de la lutte, s'ils voulaient s'unir pour se défendre en faisant appel à la science.

Sur le premier point nous sommes tous d'accord pour imiter les sages conseils du Dr White qui recommande l'économie à ses compatriotes des États-Unis, malgré la belle assurance de Sir John Cadmann (anglais) qui assure que 60 p. 100 de l'aire terrestre est scientifiquement pétrolifère.

Sur le second point, je vous ai montré la diversité et le nombre des matières premières indigènes dont nous disposions, mais qui ne peuvent satisfaire à nos besoins que dans leur ensemble. Là encore, comme le disait M. Millerand ces jours-ci à la Société des Ingénieurs civils de France : *Il nous faut réaliser l'union dans le travail...*

Le pétrole national ne peut être que le fruit d'une collaboration nationale d'industries susceptibles de le produire avec des matériaux nationaux. Pour accomplir cet effort national dont notre indépendance sera le fruit, il est nécessaire de créer un mouvement d'opinion qui soutienne le Gouvernement dans la politique de production et d'économie qui doit succéder à la politique de gaspillage et d'importation.

Pour atteindre ce résultat, il importe d'adopter une attitude courageuse qui ne faiblisse devant aucun intérêt particulier puisqu'il s'agit du salut de la France. Il faut, en outre, consentir à de larges sacrifices financiers qui seront d'autant plus restreints et plus productifs qu'ils auront été préparés par les études sérieuses des techniciens de toutes les industries intéressées.

Nous retrouvons là, une fois de plus, la nécessité d'une étroite association entre la science et le capital.

Les épouvantables événements de ces dernières années, surtout ceux que nous vivons, prouvent surabondamment que la résistance d'un pays, sa prospérité et son avenir, dépendent plus de l'énergie de ses industries que de sa finance.

Je ne pouvais faire mieux, pour réclamer la création d'une industrie nationale des substituts du pétrole que de m'adresser à la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale.

J'espère que, de cette tribune, mon appel sera entendu et je demande à la Presse, qui peut faire tant de mal, mais qui peut également faire tant de bien, de ne pas faillir au rôle national qui lui reste à accomplir, en réclamant elle aussi le pétrole national.

A. Guiselin,
Membre du Comité général du Pétrole,
Ingénieur-chimiste (*E. P. C.*).

(A) *Les huiles végétales en substitution aux huiles minérales.* — La culture du colza pourrait être reprise et alternée avec celle du blé et de la betterave.

Cette huile, dont la fluidité correspond à celle de l'oléonaphte russe n° 1, ou des huiles dites fluides, est celle qui a servi d'ailleurs de base à la fabrication des huiles minérales dites à mouvements (transmission).

La viscosité de l'huile pourrait, d'après M. Fréjacques (*Chimie-Industrie* d'octobre 1920), être augmentée par hydrogénation convenable et fournir en même temps des huiles rancissant moins facilement.

A ces huiles viendraient s'adjoindre les huiles de ricin dont la réputation n'est plus à défendre depuis qu'elles ont servi au cours de la guerre dans l'aviation; c'est-à-dire pour une application qui demande des garanties maxima.

La culture du ricin pourrait être faite sur les terres de la métropole et non pas seulement aux colonies.

En dehors de l'intérêt que présente la question de la substitution des huiles indigènes végétales aux huiles étrangères minérales, pour le graissage, s'ajoute celui de la production de tourteaux de grande valeur.

Les tourteaux de colza indigènes sont comestibles; les animaux en sont friands.

Les tourteaux de ricin sont extrêmement riches en azote organique et constituent de précieux engrais.

Comme simple indication sur les prix, nous lisons dans la circulaire de Maurice Duclos de février 1921.

Huiles de colza (*en barils f.o.b.*)	Anvers, 235 f Londres, 260 f
Huiles de ricin (*en barils gare quai*), Marseille	1[re] pres. 290 f 2[e] pres. 245 f

Huiles spindlées	légères, 200 f lourdes, 225 f	(*dédouanées en fûts perdus Havre*).
Huiles filtrées	240 à 350 f	

(B) *Situation mondiale de l'industrie des huiles lubrifiantes.* — Avant la guerre, les huiles lubrifiantes extraites des pétroles bruts étaient extraites par deux pays principaux :

Les États-Unis	2.500.000 t
La Russie	400.000 t

Les autres pays producteurs comme la *Galicie* et la *Roumanie* ne fabriquaient même pas pour leurs besoins.

Depuis la guerre, les *États-Unis* restent à peu près les seuls producteurs exportateurs. En 1919, année pour laquelle on possède des statistiques certaines, les États-Unis ont fabriqué 2.900.000 t d'huiles diverses, en ont exporté 955.000 t et ont consommé le reste.

Rien que pour les automobiles, les consommations ont été les suivantes :

Pour les 6.000.000 autos de tourisme	120.000.000 gallons.
— 500.000 auto-camions	35.000.000 —
— 400.000 moteurs agricoles	35.000 000 —

Au total, près de 200 millions de gallons ou de 675.000 t.

Or, il faut ajouter à ces chiffres les voitures fabriquées en 1920 et qui n'ont pas toutes été exportées :

Soit 1.906.000 voitures de tourisme.
— 335.000 voitures-camions.

D'autre part, la puissance industrielle des États-Unis progresse avec une étonnante rapidité; la puissance des machines à plus que doublé au total depuis 15 ans. La puissance des moteurs électriques a décuplé depuis 1902.

On voit donc à quelles consommations effrayantes d'huiles on doit arriver dans un pays où l'on gaspille cette matière relativement bon marché.

A côté de ces chiffres, il faut placer ceux qui correspondent aux consommations normales des grands pays industriels comme l'Angleterre, l'Allemagne, la France. Les dernières statistiques donnent pour ces consommations :

Angleterre	250.000 à 300.000 t.
Allemagne	250.000 à 300.000 t.
France	150.000 à 200.000 t.

Ces trois pays absorbent donc à eux seuls la presque totalité des exportations américaines.

(C) Déjà le 2 juin 1920, M. Bérenger rappelait au Sénat qu'en 1920 il avait été dépensé, rien que pour le ravitaillement de la France en essence et pétrole, plus de 1 milliard et demi.

(D) M. Marsal, répondant à M. Bérenger dans la séance du 2 juin 1920, s'est déclaré partisan résolu du traitement préalable des houilles avant combustion.

Il a tenu à préciser l'importance qu'il attachait à l'utilisation des forces électriques produites par des sources d'énergie naturelles, puis il a défini la politique du pétrole dans ses débuts, par une recherche intensive des gisements dans notre sol, celui de nos colonies et de tous les pays. Enfin il a terminé, lui aussi, par des vœux en faveur de la production d'alcool en quantités suffisantes et *à bas prix*.

L'alcool à bas prix, tout est là évidemment, mais pour y arriver il faut agir à la fois sur tous les éléments du prix de revient dont le plus important est la matière première. Or, on a le grand tort en France, lorsque l'on parle d'alcool d'industrie, de ne penser qu'à l'alcool de betterave et sous prétexte que la culture de cette racine est utile parce qu'elle favorise celle du blé. Elle favorise la culture du blé en ce sens qu'elle fait profiter celui-ci d'une préparation assez coûteuse de la terre que supporte la betterave; mais les prix de l'alcool se ressentent en fin de compte de ce mode de production coûteux.

Il y a là un juste équilibre qu'il faudrait bien étudier parce qu'il existe peut-être un autre moyen de favoriser la culture du blé, beaucoup moins coûteux. Si la culture de la betterave ne devait plus intéresser que pour elle-même on se rendrait compte alors que cette racine n'est véritablement propre qu'à faire du sucre et non de l'alcool industriel.

Le jour où l'on pourra compter en France trois genres d'alcool :

l'alcool de vin, irréprochable et cher;

l'alcool de betterave, pouvant concurrencer le premier;

l'alcool colonial, détestable au goût, fabriqué en conséquence, riche en alcools supérieurs, odorants et bon marché, la lutte entre l'alcool de vin et de betterave cessera d'elle-même par suite de la disparition de l'un des combattants ou d'une entente loyale avec le troisième.

C'est une honte de laisser imprimer qu'un alcool de betterave bien fabriqué est plus malsain qu'un alcool de fruits. Les discussions comme celles qui se reproduisent constamment au Parlement sur les propriétés nocives de l'alcool, suivant qu'il provient de fruits frais ou de fruits séchés, dénotent une ignorance complète de la question; elles nuisent au prestige de nos représentants à l'étranger. L'alcool est un produit chimique bien déterminé, et quand il est purifié, le meilleur dégustateur ne peut retrouver son origine. Cette industrie de l'alcool et la législation qu'elle nécessite ne peuvent donc reposer que sur des surveillances plus ou moins effectives et là, comme dans beaucoup d'autres domaines, la parole est au gendarme et non au chimiste, tandis que le dernier mot reste au tribunal et non à l'expert.

(E) *La politique de la carbonisation.* — La technique de la carbonisation des houilles et l'énumération des nombreux avantages qu'elle entraine, au point de vue de la meilleure utilisation des produits qu'elle fournit, a fait l'objet d'études sérieuses et consciencieuses qui peuvent à elles

seules constituer une véritable bibliothèque. Parmi ces dernières, je citerai notamment celles de M. *Mélivier*, de MM. *Grebel* et *Berthelot*.

M. Grebel a été le véritable apôtre de l'utilisation du gaz sous toutes ses formes, au point de l'envisager comme un concurrent sérieux de l'électricité.

M. Berthelot s'est plus particulièrement attaché à la production des sous-produits tels que les benzols, huiles, goudrons, sulfate d'ammoniaque, coke, etc.

Si l'on désire être bien renseigné, il faut donc de toute nécessité, consulter ces auteurs et user des nombreux chiffres et documents qu'ils ont publiés et sur lesquels ils appuyent leurs thèses.

Les avantages indiscutables d'une politique française de carbonisation sont reconnus : les discours, les rapports officiels et officieux en font foi. Et cependant, c'est avec une lenteur désespérante que l'on s'engage dans une voie qui nous permettrait de nous libérer d'une grande partie de nos importations. Or sans avoir besoin d'aller aux États-Unis où la récupération des huiles légères et des goudrons constitue une industrie formidable, voyons ce qui s'est fait en Angleterre pour résoudre ce même problème depuis 1918.

Quelque temps après ma communication de juillet 1920 à la Société des Ingénieurs civils, lors de la discussion qui suivit la conférence de M. Charpy, j'ai reçu du secrétaire général de la The Midland Coal products Ltd, des révélations assez curieuses sur les premiers résultats obtenus par cette Société privée faisant suite à l'ancienne Commission officielle des Recherches de succédanés du Pétrole. Parmi celles-ci, je relève seulement la phrase suivante, parce qu'elle est symptomatique et qu'elle devrait nous faire réfléchir sur notre propre situation :

« Au cours des fréquentes visites aux houillères du pays, nous avons eu bien souvent, autrefois, l'occasion de poser la question suivante : Avez-vous dans votre gisement des parties qui vaillent franchement la peine d'être distillées, comme le canel coal, et 75 p. 100 des réponses ont toujours été négatives. Or, depuis que nous procédons nous-mêmes à des recherches et à des essais, nous sommes étonnés des quantités importantes de produits distillables qui existent dans le sous-sol anglais ».

Ainsi, cette légende que le sous-sol, à part les houilles et quelques tourbes lignites, ne contient pas de quantités abondantes de produits distillables n'existait pas qu'en France. Seulement l'Angleterre, dès qu'elle eut reconnu son erreur, a cherché à la réparer.

Il convient d'ajouter que l'on ne recherche pas assez en France les avantages exacts que l'on peut retirer des distillations à basses températures, non pas en se plaçant au point de vue d'une industrie destinée à lutter contre les importations étrangères, mais en imaginant cette industrie comme l'une des sources possibles de production d'huiles lubrifiantes et de résidus combustibles en cas de guerre.

(F) SCHISTES BITUMINEUX.

France. — Il existe en France d'importants gisements de schistes bitumineux dans la *région lyonnaise*, dans l'*Allier*, en *Vendée*, dans le *Var*. Il en existe encore bien d'autres qu'il faudrait simplement se donner la peine de rechercher.

L'industrie du schiste date de 1830; elle est l'œuvre d'un Français, *Laurent*. Elle a fait l'objet d'une exploitation dans les 2 bassins de l'Allier et de l'Autunois pendant un grand nombre d'années, mais a dû céder la place au pétrole lorsque celui ci, bon marché, a pu pénétrer en France grâce à un fret peu élevé. Cette industrie fut protégée pendant un certain temps, mais pas suffisamment; l'un des gisements commença à abandonner la lutte dès 1910, et définitivement à la guerre : la société exploitante eut plus d'intérêt à extraire des charbons que leur mauvaise qualité ne faisait plus repousser en raison de la pénurie des combustibles d'alors.

L'autre gisement, celui du Lyonnais, n'a pas cessé de produire malgré les difficultés rencontrées au cours de la guerre. La Société, fort bien conduite, n'a cessé d'être prospère; elle s'attaque à de nouveaux gisements et, malgré la cherté de toute chose, il n'est pas douteux qu'elle aboutisse à d'heureux résultats, en raison même de la protection qu'elle trouve dans les hauts prix pratiqués pour l'essence et le pétrole.

La production des gisements français était, avant la guerre, de 150.000 hl de produits divers. J'estime que, par une sage coordination des efforts dans les 4 régions actuellement connues, la production des huiles brutes et essences de schistes bitumineux pourrait atteindre 500.000 hl se répartissant comme suit :

	Huiles brutes.	Essences.
	—	—
Bassin d'*Autun*	200.000 hl	20.000 hl
— de l'*Allier*	100.000 —	10.000 —
— de *Vendée*	100.000 —	10.000 —
— du *Var*	100.000 —	10.000 —
	500.000 hl	50.000 hl

(Voir Rapport officiel sur les Ressources nationales en carburants (1917) volume 2.)

Sur l'avenir possible de cette industrie en France, je me suis expliqué dès 1917 au Comité général du Pétrole. Si l'on avait suivi mes conseils dès cette époque, peut-être cette industrie n'aurait-elle pas eu à le regretter (*Chimie et Industrie* du 1er mars 1919).

Il faut, toutefois, noter le réel effort tenté par la Société lyonnaise des Schistes bitumineux qui date de 1835, époque à laquelle l'ingénieur Selligue reprit les travaux de Laurent.

Avec les procédés actuels et dans les cornues actuelles, on obtient, par tonne de minerai, en France :

75 à 80 l d'huiles brutes et essences;
400 l d'eau ammoniacale pouvant donner 10 à 14 kg de sulfate d'ammoniaque;
300 à 400 m³ de gaz.

Il est nécessaire d'utiliser pour cette distillation 100 à 200 kg de houille de mauvaise qualité que l'on extrait sur place.

La Société d'Autun estime qu'une installation pour le traitement de 100.000 t de schiste coûte actuellement 20 millions au lieu de 3.500.000 avant la guerre, elle n'a pas hésité cependant à compléter ses installations.

Grande-Bretagne. — Cette industrie, créée en France, s'est installée avec succès et profit en Ecosse dès 1857. A l'origine, les usines furent très nombreuses, puis elles se réduisirent successivement de 51 en 1871, à 15 en 1879, à 13 en 1857, à 6 en 1916. A cette dernière date, le chiffre d'extraction des minerais s'élevait à 3.500.000 t produisant :

Sulfate d'amoniaque	59.500 t
Huiles brutes 80.500.000 gallons, soit	365.000.000 t

dont on retirait :

Huiles lampantes	180.000.000 l
— de graissage	50.000.000 l
Paraffine	27.500 t

En l'état actuel de l'industrie, l'huile de schiste extraite des gisements du Norfolk reviendrait à 2 pence le gallon.

Etats-Unis. — Cette industrie du schiste, presque abandonnée en France, reprise en Grande-Bretagne, ailleurs qu'en Écosse, fait l'objet aux Etats-Unis actuellement d'une exploitation intensive et méthodiquement engagée.

C'est au Dr Victor Alderson, directeur de l'École des Mines du Colorado, que l'on a confié les études préparatoires pour la mise en route de cette industrie. Ce savant est venu faire école en Écosse et travaille actuellement à la publication du livre spécial qui résumera ses observations.

D'après cet auteur, les gisements de schistes bitumineux existent un peu partout et nous pouvons à ce sujet noter cette affirmation. Malgré cela, le dépôt de schistes pétrolifères le plus riche et le plus accessible serait celui du Colorado comprenant le Nord-Est de l'Utah et le Sud-Ouest du Wyoming. Le Gouvernement a retenu 20.000 ha dans le Colorado qui contient la partie Nord-Ouest du Colorado et 40.000 ha dans l'Utah pour ses besoins. Dans le bassin de l'Utah, il y a près de 40 milliards de tonnes de schistes capables de produire plus d'un baril à la tonne.

Ces réserves permettent de considérer les schistes bitumineux comme des substituts sérieux du pétrole, car il est inexact de classer les huiles brutes de schiste dans les huiles inférieures. Lorsqu'elles sont bien travaillées, elles produisent des quantités importantes de dérivés précieux tels que les huiles lubrifiantes et la paraffine qui justifient largement la politique schistière des Etat-Unis.

D'ailleurs, depuis ma communication faite en 1918, à la Société des Ingénieurs civils (*Les combustibles liquides*, novembre 1918, p. 405 à 470), des faits nouveaux sont survenus et l'opinion généralement admise est que l'industrie des pétroles de schistes pourra se substituer heureusement à l'industrie du pétrole pour les besoins propres des États-Unis pendant une longue période.

Les entrepreneurs américains qui ont étudié sur place le minerai estiment que l'extraction peut revenir à 18 cents la tonne et les frais de concassage et d'amenée en cornues à 40 cents.

The American Oil Shale Co, qui possède des dépôts schisteux à Green River dans le Wyoming, arrive à 1 dollar par tonne pour le traitement des schistes alors que l'on compte 0,50 à 1 dollar par tonne par les procédés écossais. En raison de l'objectif qu'ils se sont donné, qui est de produire vite et en grandes quantités, les Américains seraient très portés à adopter les cornues horizontales avec transporteur à vis sans fin qui dépensent 0,10 à 0,25 par tonne, mais qui débitent beaucoup plus.

D'après ces divers renseignements le prix de revient d'un baril de pétrole de schiste varierait, suivant les conditions, entre 0,50 et 1,25 dollar en Amérique. Or, à l'époque où ces

chiffres étaient publiés, le pétrole brut de Pennsylvanie était coté 6 dollars. Les prix ont évidemment baissé il y a quelques semaines, mais ils restent très supérieurs à ceux des huiles brutes de schiste.

Au surplus, pour les États-Unis, la question des schistes bitumineux est d'une importance vitale, politique et économique, qui dépasse les seules considérations commerciales d'un bénéfice immédiat. Il s'agit de conserver le pétrole en réserve pour les cas graves.

Je relève dans une revue, *L'Age de fer*, quelques renseignements sur l'industrie du schiste qui peuvent être rappelés indépendamment de ceux qui précèdent.

C'est le chimiste Laurent qui a découvert, en 1830, qu'en distillant du schiste en vase clos on obtenait un liquide pouvant donner après épuration un produit comparable au pétrole. A la suite de cette découverte, l'industrie du schiste s'est créée en France, mais est passée ensuite en Ecosse. Elle fait l'objet actuellement de nouvelles installations aux États-Unis.

Les schistes bitumineux se rencontrent surtout dans les terrains dévonien, silurien, et les géologues sont peu d'accord sur l'origine des schistes malgré leur richesse en débris fossiles animaux et végétaux de toutes sortes. Avec le schiste, on trouve presque constamment associé le boghead; mais alors que le schiste ne contient pas d'huiles minérales préexistantes avant distillation, le boghead contient des paraffines solubles dans l'alcool.

Les schistes sont extraits comme le charbon, mais au moyen de la dynamite; ils sont triés et concassés en fragments de 38 cm.

L'industrie a été créée en France par M. Selligues. Les cornues en France sont de 3 types :

Cornue Malo, four tournant traitant 10 m³ par 24 heures, avec chargement toutes les 4 heures de 16,2 hl.

Cornues française et écossaise. Le raffinage ressemble à celui du pétrole.

Après avoir cité quelques chiffres dus à M. Guiselin, l'auteur commente le récent rapport de M. Roeschlaub sur l'industrie des schistes aux États-Unis.

(G) Lignites.

Pour les lignites, je renvoie au chapitre spécial de ma conférence où je traitais ce combustible spécial (*Les combustibles liquides*, Société des Ingénieurs civils de France). Il convient également de se reporter au chapitre que lui réservent les statistiques officielles des Mines et l'annuaire du Comité des Houillères.

D'après ce dernier document qui relève 155 concessions réparties en 25 départements dont 46 p. 100 en surface pour la région provençale, 32 p. 100 pour la région languedocienne, 15 p. 100 pour la région est et de 7 p. 100 pour le Dauphiné.

D'après la plupart des statistiques officielles françaises publiées, on estime cette richesse en lignite à 2 milliards de tonnes, c'est-à-dire une réserve de combustible suffisante, au taux actuel, par 50 années. Or, aux dires d'experts, tous les gisements de lignite ne sont pas connus.

Malgré ces ressources importantes, c'est à peine si nous extrayions 1 millier de tonnes de ce combustible au moment où l'on nous faisait payer la tonne de houille 3 à 400 f. Pendant ce temps, l'Allemagne, riche en houille de bonne qualité, extrait le lignite de plus en plus et en fait la base d'une industrie prospère.

L'*Intermedia* du 10 février 1921 indique les productions suivantes en Allemagne, productions qui sont à méditer lorsqu'on les compare à celles de la France :

Lignites extraits *en France*, en octobre 1920 :

les statistiques du bassin des Landes sont muettes;
les statistiques du bassin du Rhône donnent 72.000 t.

Lignites extraits en *Allemagne centrale* :

En octobre 1920	5.742.000 t
En novembre 1920	6.532.000 t

avec lesquelles on a fabriqué :

En octobre 1920	1.066.169 t de briquettes
En novembre 1920	1.399.095 t —

Lignites extraits en *Allemagne rhénane*, en novembre 1920, 2.854.000 t.

Or, les lignites allemands ne sont pas supérieurs aux nôtres et c'est commettre une erreur que d'attribuer notre inaction à cette cause. Les lignites allemands contiennent même 3 à 4 p. 100 de cendres de plus que les nôtres. En outre, l'extraction des lignites n'est pas plus dangereuse que celle de la houille; il suffit de visiter les mines allemandes pour s'en convaincre.

En résumé, il en est des lignites en France comme des tourbes, comme des schistes. Ce sont des produits qui jouissent d'une mauvaise réputation auprès des sociétés industrielles et cette mauvaise réputation est tellement bien assise, qu'on n'a même pas pu profiter de la crise récente des combustibles pour la faire disparaître. C'est pourquoi [nous continuons à payer à l'étranger des combustibles que nous possédons chez nous.

(H) *Alcool de bois par hydrolyse de la cellulose.* — La diversité des moyens de production d'alcool est grande. N'avons-nous pas, depuis Braconnot, le moyen de transformer la cellulose en alcool, par des procédés qui ne furent remis en mémoire qu'en 1894 par *Simonsen* et introduits dans la technique industrielle par *Classen* qui étudia les propriétés hydrolysantes de l'acide sulfureux et montra tout un procédé théorique de fabrication d'alcool de sciures de bois.

Je dois à l'amabilité de M. Menessier des documents fort intéressants sur les premières tentatives qui furent faites vers 1898 pour mettre le procédé Classen au point.

D'après cet auteur, l'alcool peut être produit assez facilement en faisant agir, vers 145°, sur de la sciure de bois, 50 à 75 p. 100 en poids d'acide sulfureux à 7/8 p. 100 qui transforme la cellulose en sucres fermentescibles.

Après fermentation des jus et distillation, il reste des résidus de grande valeur dont la carbonisation en vase clos donne :

Charbon de bois.	44,40 p. 100.		
Acide pyroligneux brut.	40° contenant	acide acétique	2,10
		méthylène	0,80
Goudron.	5 p. 100.		

1.000 kg de sciure sèche donnent 14 p. 100 d'alcool à 100° et 500 kg de résidus utilisables comme ci-dessus.

Malheureusement, cette utilisation des sciures et menus bois n'a jamais été étudiée très sérieusement et les quelques difficultés de mise au point, dues à l'action du tanin et à la nécessité d'un chauffage très régulier, ainsi que certaines actions politiques, n'ont jamais permis aux premiers inventeurs de créer une véritable industrie, même pendant la guerre au moment où nous devions importer à des prix ruineux l'alcool nécessaire à nos poudreries.

Lorsque l'on songe aux quantités énormes de bois menus et de sciures industrielles qui sont perdues chaque année en France, on ne peut que déplorer l'intrusion néfaste de la finance et de la politique dans certaines utilisations rationnelles de matières premières gaspillées ou abandonnées à la destruction naturelle.

Ces derniers mois, à la suite de travaux ininterrompus de la Commission d'utilisation des combustibles, des savants sont arrivés à cette conclusion que le bois pouvait être un combustible! Pourquoi n'a-t-on pas songé à ce moment que ce combustible pouvait être obtenu presque pour rien et, par conséquent, susceptible de concurrencer la houille, à la condition de lui faire rendre, avant de le brûler, des produits de valeur comme l'alcool, l'acide acétique, le méthylène.

(I) *Alcool synthétique.* — A l'alcool agricole, pourquoi n'ajouterions-nous pas celui que paraissent vouloir fournir à bon compte les nouveaux procédés de synthèse?

S'il est exact, comme M. Mignonac nous l'a affirmé, qu'il est possible de produire à 60 fr l'hectolitre de l'alcool à 98°, je dis que le problème est doublement résolu.

Il l'est premièrement, parce que sans conteste l'alcool à 60 f peut concurrencer l'essence à 200 f et que le problème de son utilisation est résolu depuis fort longtemps, sauf pour les commissions officielles.

Il l'est deuxièmement, parce qu'à cette concentration l'alcool éthylique est capable de dissoudre en grandes proportions les huiles de pétrole lampantes et même lourdes; bon marché, meilleur marché que l'essence.

D'après M. Mignonac, les réactions qui conduisent à l'alcool synthétique sont relativement simples. L'acétylène hydraté est d'abord transformé en aldéhyde éthylique dont l'hydrogénation aboutit à l'alcool.

Les procédés mis en œuvre pour réaliser l'hydratation sont nombreux quoique le principe soit toujours le même. Il consiste à traiter l'acétylène par une solution acide contenant un catalyseur (Kutscherolf, 1881).

Les procédés d'hydrogénation utilisent l'action directe de l'hydrogène en présence de métaux catalyseurs (procédé Sabatier et Sanderens), ou la réduction électrolytique (procédé Lonza, Meister Lucius).

La fabrication d'une tonne d'alcool nécessite 2 t de carbure, 500 m³ d'hydrogène et une énergie de 11.000 kWh.

Avec du carbure à 200 f la tonne, l'alcool synthétique serait produit à 60 f l'hectolitre.

(J) ALCOOLS DE SYNTHÈSE EN PARTANT DES GAZ DE HOUILLE ET DE PÉTROLE.

En dehors des sources végétales et minérales de production d'alcool, il en est d'autres beaucoup plus récentes et dont l'avenir est peut-être appelé à révolutionner les prévisions, si la carbonisation des houilles et des combustibles inférieurs *tend à se généraliser.*

Alcools de gaz de houille ou de fours à coke. — On a découvert, en effet, vers la fin du siècle dernier, que les gaz de houille provenant des usines à gaz contenaient des hydrocarbures, et notamment de l'éthylène capable d'être récupéré et transformé presque intégralement en alcool éthylique de synthèse.

Mais en dehors des gaz de ville, les gaz de fours à coke peuvent eux aussi servir à la fabrication de l'alcool. On sait que ces gaz provenant de la distillation des houilles contiennent de fortes proportions d'éthylène, d'autant plus fortes que celle-ci s'est produite à plus basse température; ce qui est encore un avantage en faveur de la carbonisation à basse température. Les proportions d'éthylène peuvent ainsi varier entre 2,, 3, 5 p. 100 et même 7 et 10 p. 100 et conduire à des rendements en alcools industriels très intéressants.

Les premières études sur ces procédés de synthèse remontent en 1896 (procédé Fritsche) mais la mise au point vraiment industrielle aurait été faite seulement en 1919 (brevet anglais Skinningrove), l'originalité de ce brevet réside dans une disposition heureuse du matériel, permettant de récupérer, dans les gaz venant des fours, les calories nécessaires aux diverses opérations nécessitant une dépense de calories.

La concentration de l'acide de 70 à 95 p. 100 et la distillation de l'alcool exigent seules un apport de calories supplémentaire à la quantité qu'on récupère.

Quant au soufre nécessaire à la fabrication et à la saturation de l'ammoniaque des gaz, il est obtenu par double réaction de l'acide sulfureux qui se dégage pendant la saponification de l'acide sulfovinique et la concentration de l'acide, sur l'acide sulfhydrique des gaz.

L'absorption de l'éthylène par l'acide sulfurique à 95 p. 100 se fait entre 60° et 80°, mais les avis des auteurs qui ont vérifié ce procédé diffèrent sur ce point.

Les inventeurs prétendent transformer en alcool 50 p. 100 de l'éthylène des gaz industriels et obtenir de 2,5 à 3 gallons d'alcool par tonne de charbon carbonisé suivant la qualité, c'est-à-dire de 11 à 13,5 d'alcool à 100 p. 100 par tonne, ce qui n'est certes pas négligeable.

Dans ces conditions, le procédé paraît très économique et susceptible de fournir des quantités abondantes d'alcool éthylique que M. Mignonac estimait à près de 7 millions d'hectolitres pour l'Angleterre en comptant sur un rendement de 7,7 l par tonne seulement. Il est bien évident que ce procédé appliqué à toutes les quantités de gaz produits en France fourniraient d'importantes quantités d'alcool.

Le prix de revient de l'alcool d'après la *Skinningrove* serait de 2,5 par gallon, soit 55 f l'hectolitre, au change 1 f 25. Ce qui, pour la France, porte le coût à plus de 120 francs.

Ce prix est évidemment encore trop élevé et des progrès restent à réaliser. Nous ne pouvons donc que souhaiter de bonne chance aux quelques inventeurs français tels que MM. Damiens, Loisy et Piette qui se sont lancés résolument dans la mise au point de ces procédés.

(K) *Alcools extraits du gaz des pétroles.* — Une autre application des procédés de synthèse a été faite ces derniers temps dans l'industrie des essences de pétrole artificielles provenant de la décomposition par la chaleur d'huiles lourdes de pétrole maintenues sous pression en présence d'agents catalytiques.

Dans un rapport sur les essences produites par les procédés catalytiques, M. Mailhe, professeur à la Faculté des Sciences de Toulouse, donne les chiffres suivants attribués à M. Greift :

Gaz provenant de la décomposition d'huiles solaires par le cracking :

Gaz carbonique	1	p. 100.
Oxyde de carbone	1,60	—
Ethylène, propylène, butylène	43,10	—
Méthane, éthane, propane	53	—
Azote	1,3	—

Ces procédés, qui ont permis à l'Amérique, pendant la guerre, de subvenir non seulement aux besoins intérieurs mais à ceux de son exportation pour les armées alliées, ont pris une très rapide extension sur les lieux de production même des huiles brutes. Ils ne se sont pas encore introduits en Europe, mais l'avenir n'a pas dit son dernier mot à ce sujet.

L'un des plus graves inconvénients qui a été reproché à juste titre aux procédés de crackings lorsqu'ils doivent être appliqués sur des huiles lourdes ayant supporté des frais de transport élevés et des droits de douane, est que cette transformation d'hydrocarbures à hauts points d'ébullition en hydrocarbures volatils s'accomplit avec une production abondante de gaz qui sont le plus ordinairement utilisés comme combustibles. Cette utilisation des gaz riches provenant des pétroles crackés est mauvaise et j'ai signalé en son temps que celle-ci était le résultat d'une mauvaise interprétation économique ; parce que les industries du cracking devraient choisir des emplacements appropriés pour utiliser ces gaz, soit à l'enrichissement du gaz à l'eau pour les villes, soit à la production de force motrice, soit encore à la fabrication de gaz comprimés dont nous avons relevé l'emploi comme précieux pour venir en aide à l'essence.

Vers la fin de la guerre, un chimiste américain, Carleton Elis, a proposé de récupérer dans

ces gaz les hydrocarbures non saturés sous forme d'alcools supérieurs en passant par l'intermédiaire de l'acide sulfurique qui agirait cette fois à froid dans des états de concentration convenables. La Standard Oil Co aurait même construit déjà une usine pour exploiter ce procédé et le perfectionner en vue d'extraire des alcools isopropylique et éthylique en partant des millions de mètres cubes de gaz qui sont produits dans ses vastes usines, où elle applique, depuis la guerre, le vieux procédé de cracking inventé et mis au point par Burton.

L'acool isopropylique ainsi obtenu et dont le point d'ébullition est 82°,4, a reçu le nom de pétrolsol et conviendrait tout particulièrement aux moteurs d'avions d'après les résultats contrôlés officiellement.

Cependant ce moyen de fabriquer des alcools ne m'apparaît comme une source possible de carburants que lorsque l'industrie du cracking sera créée en France.

Pour le moment, les schisteries seraient seules capables d'en tirer parti, et comme je souhaite que ces usines se multiplient sur le sol national, il convenait de les signaler afin qu'elles s'appliquent à fabriquer des carburants spéciaux pour l'aviation.

(L) *Automobiles à gaz* (D'après M. Neu, *Chaleur et Industrie*, n° 3, mars 1921). — Un moteur à explosion exige 2.500 à 3.000 calories par cheval-heure effectif; un litre d'essence contient 7.500 à 8.000 calories avec un encombrement de 1 dm³, un poids net de 0,750 kg, un poids brut de 1 kg, on dispose de 2,5 à 3 ch.

Comme un litre d'essence à 7.500 — 8.000 cal = 1,6 m³ de gaz à 4.500/5.000 cal si l'essence coûte 2,50 f le litre, le gaz emballé peut être payé $\frac{2,50}{1,6} = 1,55$ f, c'est-à-dire un prix bien supérieur à celui auquel il est vendu actuellement. Malheureusement l'emploi des gaz soulève la grosse question des approvisionnements.

Ces moyens d'approvisionnement peuvent être les suivants :

Station de compression avec ou sans raccords;
Compression à bord de la voiture (avec moteur spécial ou avec le moteur de la voiture).
Approvisionnement par voitures de garages;
Changements de tubes.

Une bouteille pesant 72 kg, contenant 50 l de gaz à 150 kg : cm² représente avec du gaz à 5.500 calories $\frac{72}{7,5} = 9$ kg de poids mort par mètre cube de gaz ou 4,8 kg par cheval, ou un poids total de 5,050 kg par cheval, correspondant à un encombrement de 6 dm³.

Avec du gaz comprimé à 75 kg : cm² le récipient est à peu près une demi fois plus léger, mais comme l'encombrement est plus grand on en arrive à peu près au même poids mort de 5 kg par cheval-heure et on peut conclure que le poids du récipient cheval-heure est indépendant de la pression et que l'encombrement est inverse de la pression.

Comme les meilleurs accumulateurs pèsent 25 kg par cheval-heure, nous voyons que la solution du gaz comprimé devrait être plus sérieusement envisagée.

En Angleterre, de nombreux camions sont équipés pour brûler du gaz, surtout les voitures de ville effectuant des services publics.

En dehors de M. Neu, M. Grebel est un des chauds partisans de l'emploi du gaz comme succédané de l'essence. Voici d'ailleurs quelques chiffres extraits de *Chaleur-Industrie* de novembre-décembre 1920, sur les appareils employés en Angleterre, et qu'il emprunte à son étude du 1er février 1919 parue dans le *Génie civil* :

La London General Omnibus Co utilise le gaz de ville comprimé à 80 kg : cm². Le gaz est détendu dans une première chambre à 0,140 kg : cm² et pris de là par le moteur. Les récipients ont une capacité de 0,255 m³ et emmagasinent 17 m³ à la pression atmosphérique. Le tube en cuivre a les dimensions suivantes : D = 0,25 m, L = 2,75 m; il est fretté par un enroulement de fils d'acier. Les fonds sont en acier et sont réunis par des tirants. Un réservoir plein suffit à la voiture pour faire 32 km soit 0,670 m³ au kilomètre. Le gaz est comprimé dans des réservoirs situés aux postes de raccordement qui peuvent être reliés aux voitures par tuyauteries et flexibles.

Pour comprimer le gaz, il faut :

Pression (kg : cm²)	10	20	75	100	150
Kilogrammètres	33.000	43.000	51.500	61.500	71.500
Consommation de gaz correspondante	0,061	0,080	0,093	0,112	0,132

M. Grebel donne les chiffres comparatifs suivants sur l'encombrement des réservoirs.

En admettant 2.750 cal essence pour la consommation d'un moteur à explosion produisant un cheval-heure avec l'essence, on a besoin pour produire un cheval-heure :

D'un volume	0,350 dm³
— poids net	0,250 kg
— poids brut (avec récipient)	0,330 kg

avec le gaz débenzolé, on a besoin pour produire un cheval-heure, gaz à la pression ordinaire :

D'un volume	590 l
— poids net	0,300 kg
— poids brut (réservoir compris)	5 kg

Avec du gaz à 150 kg : cm² on a besoin, pour produire un cheval-heure :

D'un volume	6 l
— poids net	0,300 kg
— poids brut (réservoir compris)	5 kg

Le poids du réservoir est indépendant de la pression.

(M) *Les locomotives à gaz.* — Les locomotives à charbon ont un tender, elles doivent consommer pour un cheval { 10,400 kg d'eau, 1,430 kg de charbon.

donc trainer 11,830 kg de combustible plus eau.

Avec du gaz, utilisé dans un moteur à gaz, avec transmission électrique le rendement = 82 p. 100 et il faut trainer 5,05 kg de gaz × 1,22 = 6,16 kg c'est-à-dire un poids moitié moindre.

Pour les chemins de fer, cette question du moteur à gaz est d'autant plus importante qu'elle se relie à celle de l'emploi du coke pouvant servir à faire du gaz à l'eau dans des conditions économiques utiles à considérer en temps de crise de combustible.

Au lieu d'employer 1,430 kg de charbon, avec le gaz il ne faudrait que 1,500 m de gaz à l'eau nécessitant 0,500 kg × 1,5 = 0,750 kg de coke. C'est-à-dire 50 p. 100 des quantités actuellement dépensées.

(N) *La question de l'alcool en temps de guerre.* — Si la question de l'alcool industriel est intimement liée à celle du problème de la substitution en temps de paix de l'alcool carburé à l'essence, elle est autrement plus grave en temps de guerre parce qu'à ce moment précis, l'alcool serait non seulement nécessaire pour faire marcher les moteurs, mais devrait encore satisfaire les fabrications des poudres qui ont demandé au cours de la dernière année 1918 plus de 4.500.000 hl d'alcool, d'après M. Mignonac.

Si nous estimons que la consommation des carburants en temps de guerre resterait celle de 1918, c'est-à-dire près de 8 millions d'hectolitres dans lesquels l'alcool entrerait pour 50 p. 100, c'est donc au total pour une production de 8 à 9 millions d'hectolitres que l'industrie de guerre de l'alcool devrait pouvoir fabriquer aux premiers jours de la mobilisation.

Nous sommes donc bien loin des 3 millions d'hectolitres d'avant-guerre comprenant les alcools de vins et de betteraves, et il y aurait par conséquent une large place en France pour les distilleries de matières coloniales, soit directement fermentescibles comme les fruits sucrés, soit rapidement transformables en matières fermentescibles comme certains fruits ou racines.

Au point de vue économique ou de Politique industrielle, je crois que les 5 nouveaux millions d'hectolitres d'alcools industriels mettraient d'accord les intérêts en jeu que soulèvent les alcooliers du Midi et du Nord. Grâce à leur puissance, ils amèneraient à cette stabilisation des prix, qui a fait beaucoup plus de mal à l'alcool industriel que son prix élevé que lui reprochent avec raison certains techniciens.

Dans un très beau travail sur la carburation, M. Grebel entreprend une critique très sévère de l'alcool considéré comme carburant, et juge comme un non-sens économique l'utilisation d'un carburant qui exige lui-même une dépense de combustible pour sa fabrication.

Il faut, dit-il, 1 kg de charbon pour la force motrice, la distillation et la rectification de l'alcool; il faut donc détruire 7.500 cal de houille pour recueillir 5.000 cal alcool!

Ceci est un point de vue un peu spécial et qui me semble discutable. Il est bien exact que la production de l'alcool exige une dépense préalable de combustibles, mais en matière d'utilisation énergie industrielle, M. Grebel n'ignore pas que le facteur rendement est autrement important que lorsqu'il s'agit simplement de produire des calories destinées au chauffage. Son objection est par exemple logique pour l'alcool des réchauds. Mais si l'on peut obtenir avec ces 5.000 cal alcool les mêmes résultats qu'avec les 7.500 cal houilles, on n'aura rien perdu à cette transformation. Si, au contraire, comme c'est le cas, les résultats obtenus avec 5.000 cal alcool sont 2 et 3 fois plus importants qu'avec les 7.000 cal houille, il n'y a plus d'hésitation possible et la dépense préalable de combustible est largement regagnée.

Il faut ajouter qu'il est des applications où cette transformation est nécessaire, comme c'est le cas du moteur à explosion qui brûle l'alcool, mais ne pourrait brûler quantité équivalente de houille.

C'est donc dans cet esprit qu'il convient d'examiner la question des alcools non seulement de fermentation dits agricoles, mais les alcools synthétiques et tous ceux qui peuvent être fabriqués industriellement avec des matières premières indigènes.

(O) *L'utilisation rationnelle des combustibles liquides.* — Il est évident que par suite de leurs origines et de leurs avantages, les combustibles liquides resteront toujours plus chers que les combustibles solides et que leur emploi ne se justifie que dans certaines applications bien déterminées.

Malheureusement, parmi ces applications, il en est une qui est tellement importante qu'à elle seule elle est capable d'absorber la totalité des résidus fabriqués annuellement. Je veux parler de l'emploi dans la marine, soit comme combustible direct, soit comme combustible pour moteurs.

D'après Edward Hurley, si l'on estime à 75 millions de tonnes le tonnage de la flotte mondiale et la consommation en combustibles liquides égale à 1 t d'huile par an et par tonne de mer, on voit de suite que les nécessités de la marine, si elle se tournait vers les résidus de pétrole, exigeraient presque la totalité du pétrole brut extrait tous les ans et la totalité des résidus qu'on peut en retirer si l'on transformait les moteurs à vapeur en moteurs à huiles lourdes.

Ce seul exemple suffit pour expliquer la rivalité entre les grandes puissances marines désireuses de s'approprier un combustible aussi précieux et aussi rare que le pétrole.

Mais en dehors de cette grosse application, il en est évidemment d'autres beaucoup moins importantes dont l'énumération n'est plus à faire depuis qu'une campagne fameuse en l'honneur de ce combustible fantôme, qu'est le mazout, a favorisé surtout l'éclosion de nombreuses sociétés, l'émission d'actions et, comme je l'écrivais dernièrement, a aussi contribué à la crise des logements parisiens occupés par les administrateurs, non moins fantômes, des dites sociétés. Si j'insiste sur ce point, peut-être quelque peu scabreux, c'est que cette campagne dont on ne saurait trop flétrir les auteurs, aura fait un tort énorme aux sociétés sérieuses qui se préoccupent actuellement de créer ef d'organiser le ravitaillement de la France; basée sur une diminution des droits de douane pour des produits répondant à des spécifications établies à la hâte suivant une incompétence notoire. Les importations d'huiles lourdes fatalement freinées par ce fait auquel sont venues s'ajouter les difficultés administratives, et le coût très élevé du fret pétrolier, n'ont pas répondu aux espérances que l'on avait formées à leur sujet et il en est résulté que le mazout qui devait sauver la France et remplacer la houille n'a été importé en 1920 que dans une proportion de 80 000 t.

Ceci doit donner la note vraie de l'importance réelle de ce nouveau combustible, non méprisable mais dont le prix restera toujours supérieur au double de celui du charbon dans les pays éloignés des centres de production comme la France. C'est précisément l'ensemble de ces difficultés qui doit nous faire rechercher les moyens de l'obtenir chez nous, afin de pouvoir l'utiliser dans des applications convenables. En cas de conflit amenant nécessairement une pénurie de combustibles importés exigeant des combustibles que j'appellerai de guerre, parce que puissants ils permettront de grands rendements tout en exigeant un minimum de main-d'œuvre.

(P) *Utilisation rationnelle des résidus de pétrole combustibles.* — L'utilisation rationnelle des résidus de pétrole se comprend de la façon suivante.

Les résidus, très fluides pour pouvoir être manutentionnés très facilement, devraient pouvoir être importés dans des ports charbonniers où l'on produit de grandes quantités de fines accidentellement ou par triage. Dans ces ports, le résidu serait soumis à une rectification dans des appareils industriels méthodiques à récupération de calories de condensation ou de calories des résidus chauds. Cette rectification donnerait : des huiles légères pour moteurs à combustion (types Diesel ou semi-Diesel); des huiles lourdes pour cracking, fabrication d'essences légères et de gaz riches; et des brais de pétrole dont les propriétés agglutinantes sont supérieures à celles des brais de houille.

En opérant ainsi on utiliserait la plus grande partie des résidus dans le moteur Diesel, dont le rendement thermique supérieur à celui des autres moteurs, peut encore être accru, comme je l'ai proposé, par la récupération des calories contenues dans les gaz d'échappement qui peuvent servir à produire de la vapeur destinée à fournir de la chaleur ou de l'énergie aux appareils annexes du moteur principal.

Ce dispositif est appliqué à bord de certains navires pourvus de Diesel (à bord du *Vulcanus* avant la guerre). M. Neu le propose pour le chauffage central des immeubles qui utiliseraient l'énergie du moteur pour l'éclairage ou le chauffage électrique; il est donc rentré dans le domaine des réalisations courantes.

L'ÉTAT ACTUEL ET L'AVENIR DE L'INDUSTRIE GAZIÈRE. LA RÉCUPÉRATION DU BENZOL (1)

ÉTAT ACTUEL DE L'INDUSTRIE GAZIÈRE.

Les différents gaz de distribution et leurs différents emplois. — Quand on veut, pour éviter toute confusion, spécifier la nature du gaz des distributions urbaines, on le dénomme généralement : gaz de houille. Quand on veut préciser ses applications, on l'appelle encore aujourd'hui : gaz d'éclairage. Ces épithètes, qui étaient exactes, sur le continent, il y a une trentaine d'années, ne devraient plus être employées de nos jours.

A l'heure actuelle, le gaz distribué pour les usages domestiques, publics et industriels, provient :

Soit, généralement, de la distillation de la houille dans des fours à gaz ou à coke métallurgique, rarement, de la distillation d'huiles minérales ou de matières végétales et animales, exceptionnellement, de la distillation des bois, tourbes et lignites.

Soit, souvent, de la fabrication de gaz à l'eau « bleu » ou carburé à l'huile.

Nous n'avons à nous occuper ici que du gaz artificiel courant, à l'exclusion, d'ailleurs, de l'acétylène et du gaz pauvre ; ce dernier, qui est produit par des gazogènes alimentés en air humidifié a fait, en Angleterre, il est vrai, l'objet de distributions assez importantes pour des usages industriels ; quant au gaz naturel, il n'est vraiment abondant qu'aux États-Unis.

Les caractéristiques de ces différents gaz sont très variables non seulement avec les qualités de la matière première mise en œuvre, mais avec la façon dont elle est pyrogénée. Le Tableau I est simplement destiné à fixer les idées sur cette question. Remarquons que les gaz de bois et lignite ne sont réapparus momentanément qu'à la faveur du bouleversement économique résultant de l'invasion allemande.

La répartition des consommations des différents gaz distribués varie évidemment beaucoup avec les conditions économiques des divers pays (Tableau II). La France est en retard dans l'emploi du gaz de cokerie et du gaz à l'eau. Toutefois, les modifications aux

(1) Conférence faite par l'auteur, en séance publique, le 23 avril 1921.

cahiers des charges et aux droits de douane sur les huiles à gaz vont permettre d'y développer l'utilisation de ces gaz; encore faudrait-il, en ce qui concerne le gaz à l'eau carburé, que le prix des huiles à gaz (*gas oil*) des Américains rendues en France devienne abordable. Nous avons porté, dans ce Tableau II, les nombres relatifs à la Belgique, qui semble représenter les pourcentages moyens actuels pour les pays européens où les industries minières et sidérurgiques sont très développées.

Comme on le voit, il s'en faut que la position de la question soit la même aux États-Unis, pays dont la puissance économique s'explique par les ressources exceptionnelles de son sous-sol. La situation de l'industrie gazière y est tout à fait différente de ce qu'elle est en Europe, à cause de l'abondance du gaz naturel, des huiles à gaz, d'excellents anthracites, qu'on préfère souvent, au coke lui-même, pour fabriquer le gaz à l'eau.

TABLEAU I. — CARACTÉRISTIQUES DES DIFFÉRENTS GAZ INDUSTRIELS.

	Pouvoir calorifique inférieur par mètre cube (en calories).	Pouvoir comburivore moyen.	Poids du mètre cube (moyen en kilogrammes).	Composition moyenne en volume p. 100				
				CO	H^2	CH^4	Autres hydrocarbures.	Inertes (CO^2, O^2 et Az).
Gaz naturel	8.000 à 9.000	8,5	0,720	»	15	75	6	4
Gaz artificiel. Gaz de distillation de houille de fours à gaz	4.500 à 5.000	4,5	0,520	9	47	34	4	5
Gaz artificiel. Gaz de distillation de houille de fours à coke	4.000 à 4.500	4	0,560	7	55	28	3	7
Gaz artificiel. Gaz de distillation d'huile (1)	8.000 à 10.000	10	1,400	2	14	43	37	4
Gaz artificiel. Gaz de distillation de bois (2)	3.000 à 3.500	3,3	1,000	45	15	10	7	23
Gaz artificiel. Gaz à l'eau carburé (à l'huile)	5.000 à 6.000	6	0,870	26	31	23	12	8
Gaz artificiel. Gaz à l'eau bleu (non carburé)	2.500	2,2	0,750	40	48	1	»	11

(1) Très variable suivant qu'il s'agit d'huiles minérales, végétales et animales, de graisses et déchets animaux, et suivant le processus de la distillation pyrogénée.

(2) Ou tourbes ou lignites; la composition est très variable aussi suivant le mode de distillation, mais la teneur en CO^2 est toujours élevée.

TABLEAU II. — RÉPARTITION DE LA CONSOMMATION DES DIFFÉRENTS GAZ INDUSTRIELS.

	États-Unis			Belgique		France	
	en millions de mètres cubes.		proportion centésimale.	en millions de mètres cubes.	proportion centésimale.	en millions de mètres cubes.	proportion centésimale.
Gaz naturel { usages industriels	12.000	17.500	64,6	»	»	»	»
Gaz naturel { — domestiques	5.500						
Gaz artificiel { gaz de houille { d'usines à gaz	1.200	9.600	4,4	250	76,9	1.120	93,3
Gaz artificiel { gaz de houille { de cokeries	3.700 (1)		13,6	25	7,7	30 (2)	2,5
Gaz artificiel { gaz à l'eau { carburé	4.300		15,9	50	15,4	»	0
Gaz artificiel { gaz à l'eau { bleu	»		0	»	0	50 (3)	4,2
Gaz artificiel { gaz d'huile	400		1,5	»	0	»	0
Totaux	27.100	27.100		325		1.200	

(1) Excédents dont on dispose pour les réseaux de distribution sur 9.500 millions de mètres cubes.
(2) Dont la moitié provenant des fours à coke de l'usine à gaz de Toulouse.
(3) Variable et au plus en moyenne.

Quant aux applications du gaz, elles évoluent, de plus en plus, vers le chauffage, où l'on peut faire rentrer au fond l'éclairage par incandescence (fig. 1). Le gaz « d'éclairage », son épithète primitive l'indique, ne visait d'abord qu'à la luminosité. Son autre propriété, la *caloricité*, n'a été utilisée qu'ensuite, et bien modestement, au commencement, pour la cuisine.

Les applications au chauffage des appartements furent plus tardives et se développèrent plus lentement en raison des prix relativement élevés auxquels le gaz s'est longtemps maintenu. On sait quel est le succès des radiateurs à gaz. De même, l'emploi du gaz dans les chauffe-bains, puis dans les chaudières de chauffage central, s'est beaucoup répandu.

Le gaz est utilisé depuis longtemps au chauffage des fers à repasser, à la torréfaction du café, en pâtisserie et boulangerie, au chauffage des fers à souder, des étuves, etc.

Avec la guerre, se

sont développées les utilisations industrielles, particulièrement pour les traitements thermiques des métaux. Il y a, non seulement en petite et grosse métallurgie, mais dans la verrerie, les industries textiles et autres, un champ d'applications considérable que les grandes distributions de gaz de fours à coke ne manqueront pas d'exploiter.

Quoique la production de la force motrice par moteurs à gaz soit particulièrement avantageuse dans les conditions actuelles de prix de vente du gaz, de la houille et de l'électricité, cet emploi ne se développe guère que dans les centrales, utilisant sur place le gaz de fours à coke pour produire du courant.

La consommation annuelle par tête d'habitant atteint, dans les grandes villes d'Angleterre et Belgique, 200 et même près de 300 m³. A Paris, on ne dépasse guère 165 m³ et, dans nos plus grandes villes, même industrielles, 125 m³.

Si, en France, on ne dépasse guère la proportion de 50 p. 100, dans beaucoup de villes d'Europe, 70 et même 80 p. 100 de la consommation sont déjà absorbés par la cuisine et le chauffage; il est vrai que ces emplois ont été souvent favorisés par un tarif moins élevé pour le chauffage que pour l'éclairage, ce qui implique le double compteur, dont la raison d'être disparaît avec la diminution relative de l'importance de l'éclairage au gaz.

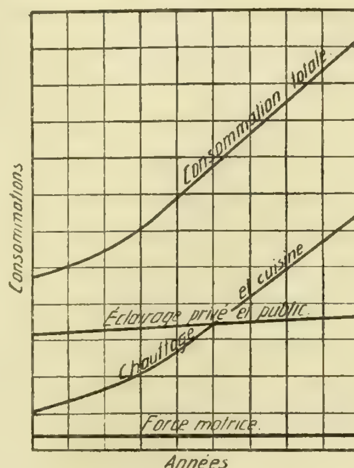


Fig. 1. — Allure des accroissements des différentes catégories de consommation de gaz, de 5 en 5 ans, depuis 1865 jusqu'en 1915.

La graphique de la figure 1, montre l'allure ordinaire de l'accroissement des différentes consommations de gaz; tandis que la part de l'éclairage reste stationnaire, quand elle ne subit pas une légère régression, celle du chauffage domestique et culinaire augmente rapidement.

Comme l'éclairage au gaz se fait en majeure partie au moyen de becs à incandescence, il n'intervient donc plus que les qualités chauffantes, si l'on peut dire, de ce gaz dans ses utilisations modernes. Sa valeur pratique dépend à la fois, nous l'avons montré ailleurs en détail, de son pouvoir calorifique et de son potentiel thermique.

Le pouvoir auto-éclairant étant aujourd'hui sans intérêt, on peut retirer, aux gaz artificiels, leurs hydrocarbures volatils très riches, comme le benzol, qui, s'ils représentent un haut pouvoir calorifique, sont très comburivores, et qui sont susceptibles d'applications plus rationnelles et plus conformes

aux lois de l'économie générale; on peut raisonnablement fixer à 4.250 calories leur pouvoir calorifique normal, de façon à permettre l'utilisation complète des gaz de fours à coke débenzolés, dans les distributions urbaines; on aurait tort de mélanger sans mesure des gaz inertes aux composants actifs du gaz (H^2, CO, CH^4, $C^n H^m$), car l'abaissement du prix de revient du mètre cube par des procédés de gazéification intégrale, plus ou moins économiques, ne peut être compensé par les frais supplémentaires de transport et d'utilisation de la calorie, et surtout par l'abaissement du potentiel thermique qui entraîne celui du rendement de l'utilisation de cette calorie. S'il n'est pas nécessaire d'avoir un gaz riche comme l'acétylène, le gaz d'huile, il ne viendra jamais à l'idée de personne de distribuer, pour les usages domestiques, du gaz pauvre de gazogène et surtout du gaz de haut fourneau!

Expliquons-nous davantage sur ce point :

Les Américains ont été incités à fabriquer du gaz à l'eau très riche par suite de la concurrence du gaz naturel à 9.000 calories qui est vendu 7 centimes le mètre cube contre 15 à 28 centimes le mètre cube de gaz artificiel. Ce gaz riche est coûteux à produire, difficile à bien brûler et à utiliser complètement. A l'extrême opposé, on a mené grand bruit, en Angleterre, pour la vente du gaz à la calorie et la distribution de gaz relativement pauvre; il est, à notre avis, peu raisonnable de véhiculer du gaz dont le pouvoir calorifique et le potentiel thermique ont été abaissés par dilution avec de l'azote, si on peut l'éviter, et surtout par dilution avec de l'air. Quoique cela paraisse séduisant *a priori*, il ne nous paraît pas conforme à l'économie générale de gazéifier intégralement le charbon en gaz à 3.000 calories, si le rendement en gaz atteint 1.500 m^3 par tonne, le rendement thermique final ne vaut pas celui où l'on s'en tient à la fabrication de gaz et coke. Comme toujours, *in medio stat veritas*.

Les procédés de fabrication des différents gaz. — Comme la fabrication du gaz de houille dans les usines à gaz est connue de tous, nous nous contenterons de préciser le processus de la distillation, des épurations physiques et chimiques et de la récolte des différents produits ou sous-produits en un tableau synoptique (fig. 2).

L'appareillage habituel est non moins connu. Toutefois, puisqu'il n'existe, dans aucun ouvrage, même dans celui si complet de M. Masse, de schéma d'ensemble d'usine à gaz moderne, nous avons cru bon d'en établir un (fig. 3). Il pourra remplacer utilement le vieux « bois » désuet qu'on trouve dans les livres de chimie élémentaire.

Les fours soit à cornues horizontales à une tête, foncées, ou à 2 têtes, non foncées (comme sur la figure 3), soit à cornues inclinées ou verticales,

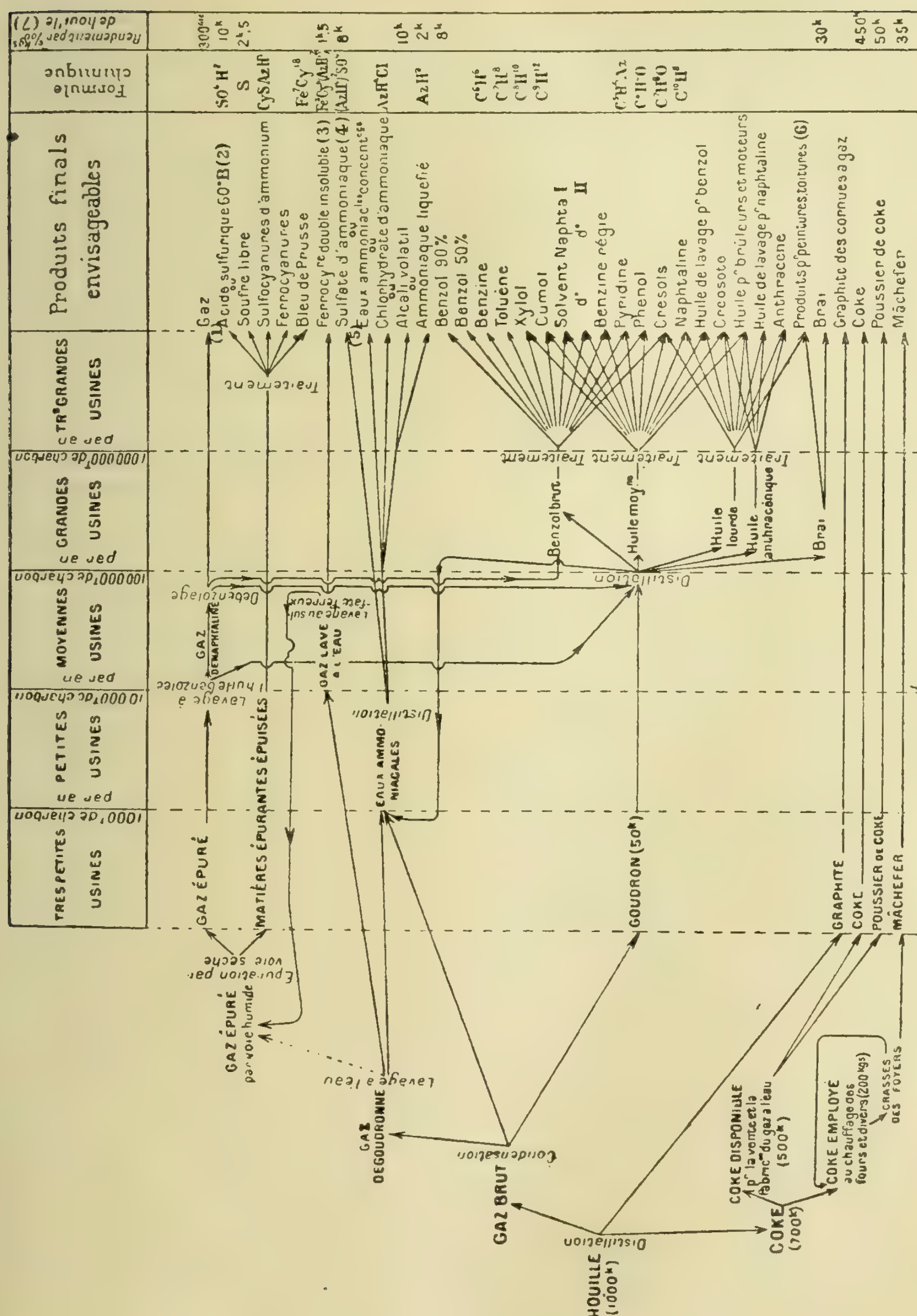


Fig. 2. — Produits de distillation de la houille pouvant être extraits suivant l'importance des usines à gaz.

sont chauffés au gaz de gazogène, avec récupération de chaleur sur l'air secondaire de combustion. On a adopté aussi, pour les grandes usines, des

fours à chambres horizontales ou inclinées, semblables aux fours à coke chauffés au gaz pauvre. Enfin, on a essayé de réaliser la distillation continue dans des cornues verticales munies d'un robinet à leur partie supérieure pour l'entrée du charbon et d'un robinet à leur partie inférieure pour la sortie du coke. Il est facile de concevoir que, dans tous les systèmes où le défournement doit se faire automatiquement, voire continuement, la nature du charbon a une influence considérable sur le bon fonctionnement industriel.

Du barillet humide, c'est-à-dire avec barbotage dans l'eau, le gaz passe dans des condenseurs refroidis par l'air ambiant ou par l'eau qui les baigne. Ces appareils sont en général mal conçus. La circulation qu'ils imposent au gaz contrarie le mouvement naturel *per descendum* de ce gaz, qui s'alourdit en se refroidissant; elle contrarie le dépôt des gouttelettes et des vésicules goudronneuses. Sur la figure 3, on a représenté notre réfrigérant « Ratio » affecté à une unité four ou batterie de fours. Il est arrosé et comporte une ventilation naturelle ou forcée, réglable; il utilise les frigories de la chaleur latente d'évaporation de l'eau au lieu de n'en utiliser que la chaleur sensible.

La majeure partie du goudron et de la vapeur d'eau contenus dans le gaz brut est arrêtée dans le barillet et les condenseurs. L'eau de condensation entraîne une partie de l'ammoniaque, les acides fixes et une partie des acides volatils dégagés au cours de la distillation.

Pour vaincre la résistance des différents appareils d'épuration physique et chimique du gaz et pour donner à ce dernier la pression nécessaire à son emmagasinage et à sa distribution, on se sert d'extracteurs qui sont ordinairement des pompes rotatives à palettes. Le goudron qui reste encore dans le gaz condensé contribue à assurer l'étanchéité des palettes et on le retient dans les « condensateurs » par choc ou « Pelouze ».

Les usines à gaz n'ont pas adopté, jusqu'à présent, la saturation semi-directe, procédé économique qui consiste à fabriquer du sulfate avec l'ammoniaque par barbotage du gaz dans de l'acide sulfurique très étendu, et qui est généralement appliqué dans les cokeries. On récupère donc l'ammoniaque non arrêté au cours de la condensation, par dissolution dans l'eau, avec enrichissement parfois méthodique de l'eau ammoniacale.

Les laveurs employés sont des appareils à léchage (caisses à sciure), des appareils à léchage et pluie (scrubbers garnis de claies bois, d'anneaux, de boudins spiriformes, etc., laveurs rotatifs Kirkham ou Holmès), des appareils à barbotage (colonnes à plateaux), des appareils à pulvérisation (laveur centrifuge Feld), laveurs à ajutages pulvérisateurs (Hirzel).

L'eau ammoniacale de condensation et lavage est traitée, d'autre part, dans un atelier à sulfate d'ammoniaque ou alcali ou gaz ammoniac. Le goudron n'est distillé que dans les usines importantes.

Dans quelques rares usines, on arrête le cyanogène par le procédé Bueb-Guillet. En général, le gaz lavé à l'eau passe aux épurateurs à oxyde de fer chargés de le débarrasser de ce qu'il contient encore d'hydrogène sulfuré, de cyanogène, etc.

Avant d'envoyer le gaz aux gazomètres, il est bon, pour éviter les obstruc-

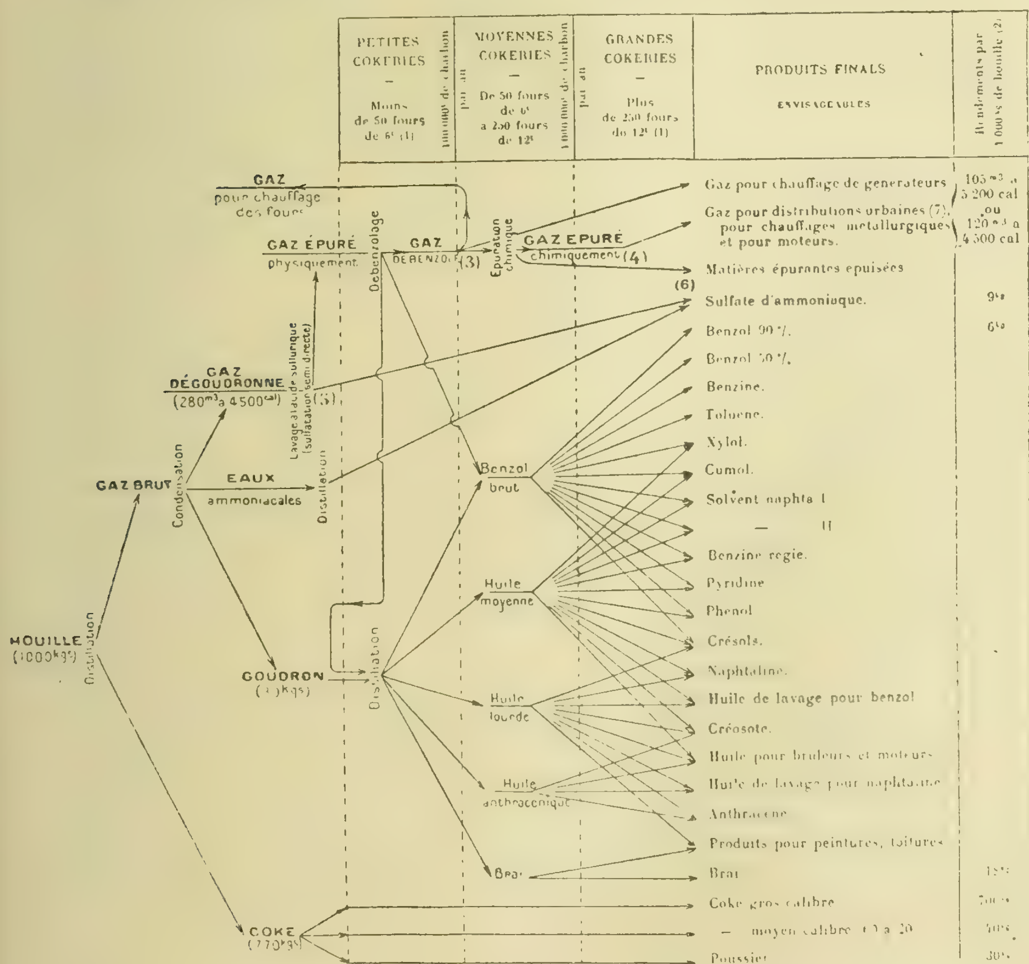


Fig. 4. — Produits de distillation de la houille pouvant être extraits, suivant l'importance des cokeries.

tions dans les canalisations, de le laver avec de l'huile lourde, chargée de dissoudre la naphtaline; cette huile doit être convenablement benzolée pour ne pas enrichir ni appauvrir le gaz en benzol.

Si, dans l'intérêt national, le débenzolage du gaz était imposé aux usines à gaz, comme il faut le souhaiter, il y aurait lieu de laver encore le gaz à l'huile ou au crésol (procédé Brégeat) pour récupérer son benzol.

Dans les cokeries, le produit principal est évidemment le coke métallurgique; les sous-produits : goudron, ammoniaque, benzol sont, comme le montre le tableau synoptique de la figure 4, toujours recueillis maintenant de façon à améliorer le prix de revient. Suivant l'importance des installations, on pousse plus ou moins loin le traitement ultérieur du goudron et du benzol. Dans les fours à coke à récupération chauffés au gaz de houille, on ne dispose guère que de la moitié du gaz produit quand on carbonise des charbons moyennement riches en matières volatiles. Ces excédents de gaz, qui étaient au début plus ou moins bien utilisés au chauffage de générateurs, chaudières à goudron, etc., sont maintenant employés de façon plus conforme à l'économie générale, soit aux distributions régionales à grande distance, pour les usages domestiques et industriels, soit au chauffage des fours métallurgiques, comme les fours Martin, soit, enfin, à la production de force motrice ou d'énergie électrique.

On est même arrivé à chauffer les fours à coke comme les fours à gaz, avec du gaz de gazogène, voire avec du gaz de haut fourneau, de manière à pouvoir disposer de la totalité du gaz de houille. Étant donné le faible potentiel thermique de ces gaz pauvres, on est obligé de les réchauffer, comme l'air, dans des régénérateurs, pour atteindre la température de régime de la distillation. On essaie aussi le chauffage au gaz à l'eau dont le potentiel thermique est comparable à celui du gaz de houille, de sorte qu'il n'oblige pas à des immobilisations complémentaires sous forme de régénérateurs pour gaz.

Les appareils de fabrication sont tellement connus que nous nous contenterons de les présenter dans un schéma d'ensemble (fig. 5) avec le minimum de commentaires.

D'ailleurs, M. Mallet a déjà donné, ici, à la fin de 1915, une conférence très remarquable sur *les progrès successifs dans la carbonisation de la houille* (1). On peut s'y reporter ainsi qu'aux nombreuses communications de M. Ch. Berthelot et à nos propres publications de 1907 à 1914 et de 1917 à 1921.

On sait que la tendance actuelle est : d'augmenter la capacité des chambres de carbonisation (jusqu'à 13 t) en portant leur longueur jusqu'à 13,40 m et leur hauteur jusqu'à 3,25 m; de diminuer la durée de cuisson (jusqu'à 16 h.) par une légère réduction de la largeur des chambres jusqu'à 0,42 m 0,46 m par une élévation de la température des piédroits et l'emploi de briques de silice plus réfractaires et plus conductrices. La revision intelligente des anciennes clauses concernant la qualité du gaz de ville va permettre de supprimer le

(1) Voir le *Bulletin* de janvier-février 1916, p. 93 à 116.

double barillet, l'un pour le gaz riche, dit d'éclairage, prélevé dans les premières heures de la cokéfaction, l'autre pour le gaz moins riche affecté au chauffage des fours.

Du barillet sec, le gaz passe dans des condenseurs à air et à eau, puis dans un extracteur et un « Pelouze » rotatif « Mallet ». Bien dégoudronné, le gaz barbote alors dans un saturateur. Nous avons représenté sur le schéma notre dispositif « Immediatus » où le saturateur est précédé d'un réchauffeur, surmonté d'un séparateur d'acide et suivi d'un réfrigérant, comme dans toutes les installations de ce genre. Si on ne veut pas fabriquer de l'alcali avec les eaux de condensation qu'on distille dans les colonnes habituelles, les vapeurs ammoniacales peuvent être réintroduites dans le circuit avant les condenseurs ou avant le saturateur, ce qui implique des teneurs de bain en acide un peu différentes. Le gaz est enfin débenzolé dans des laveurs à huile ou crésol, où la circulation du gaz et du dissolvant doit être méthodique.

Le gaz est alors divisé, s'il y a lieu, en deux courants, l'un qui est dirigé vers les piédroits des fours à coke, l'autre qui traverse des épurateurs avant d'être dirigé soit vers des fours métallurgiques ou des moteurs à gaz, soit vers des canalisations de transport à grande distance dans lesquelles il est nécessaire de le refouler au moyen de surpresseurs.

L'huile benzolée sortant des laveurs à benzol est désessenciée dans un atelier dont nous parlerons plus loin.

Le goudron recueilli dans les citernes peut être distillé dans des chaudières ou cornues discontinues ordinaires, comme celle que représente le schéma, ou dans des appareils continus plus modernes.

Nous dirons quelques mots de la fabrication si commode du gaz à l'eau carburé ou non (1).

Le tableau synoptique de la figure 6 montre qu'en dehors du gaz on recueille, dans la fabrication du gaz à l'eau carburé, du goudron et du mâchefer. Ce dernier est, si l'on peut dire, le seul sous-produit de la fabrication du gaz à l'eau bleu. On pourrait aussi, dans le cas du gaz à l'eau carburé, récupérer des benzols et des essences.

Si l'on met de côté le procédé qui consiste à fabriquer un peu de gaz à l'eau à l'intérieur des cornues, seulement, en fin de distillation, s'il s'agit de fours discontinus, ou, continûment, s'il s'agit de fours continus Woodall-Duckham, on peut dire que, dans tous les appareils modernes, le coke est porté à l'incandescence, par intermittence et à ses propres dépens, au sein même du générateur. Pendant les « périodes de soufflage » (d'air), on forme en majeure partie ou de l'oxyde de carbone ou du gaz carbonique. Les

(1) Pour plus de détails, voir le *Journal des Usines à gaz* des 20 mai, 5 et 20 juin 1920.

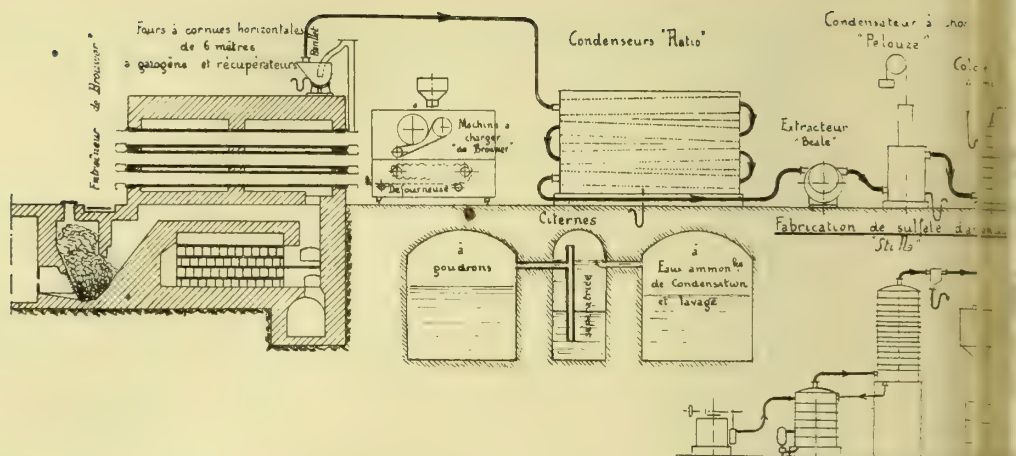


Fig. 3. — Appareill

Barillet

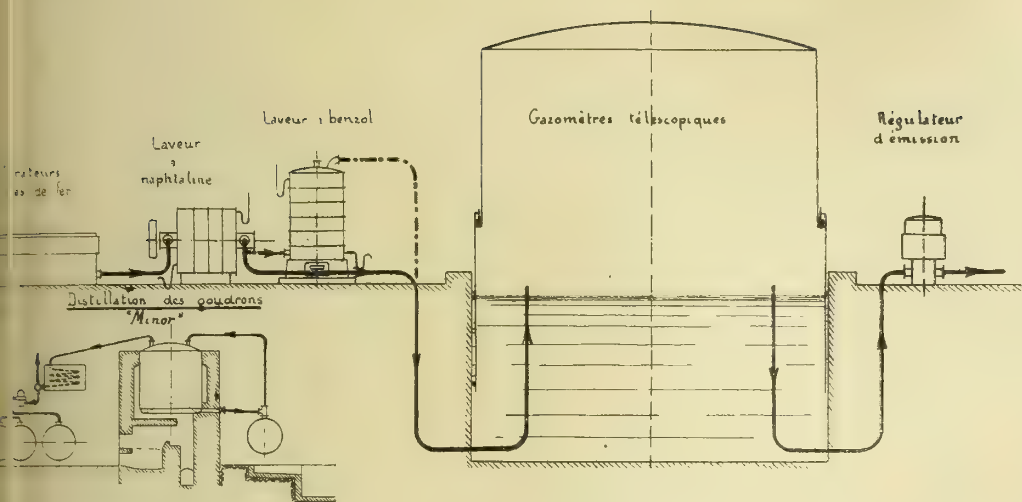
Fours à coke à Carneaux de chauffage verticaux à Regénerateurs longitudinaux

Défourneuse Repaleuse Enfourneuse

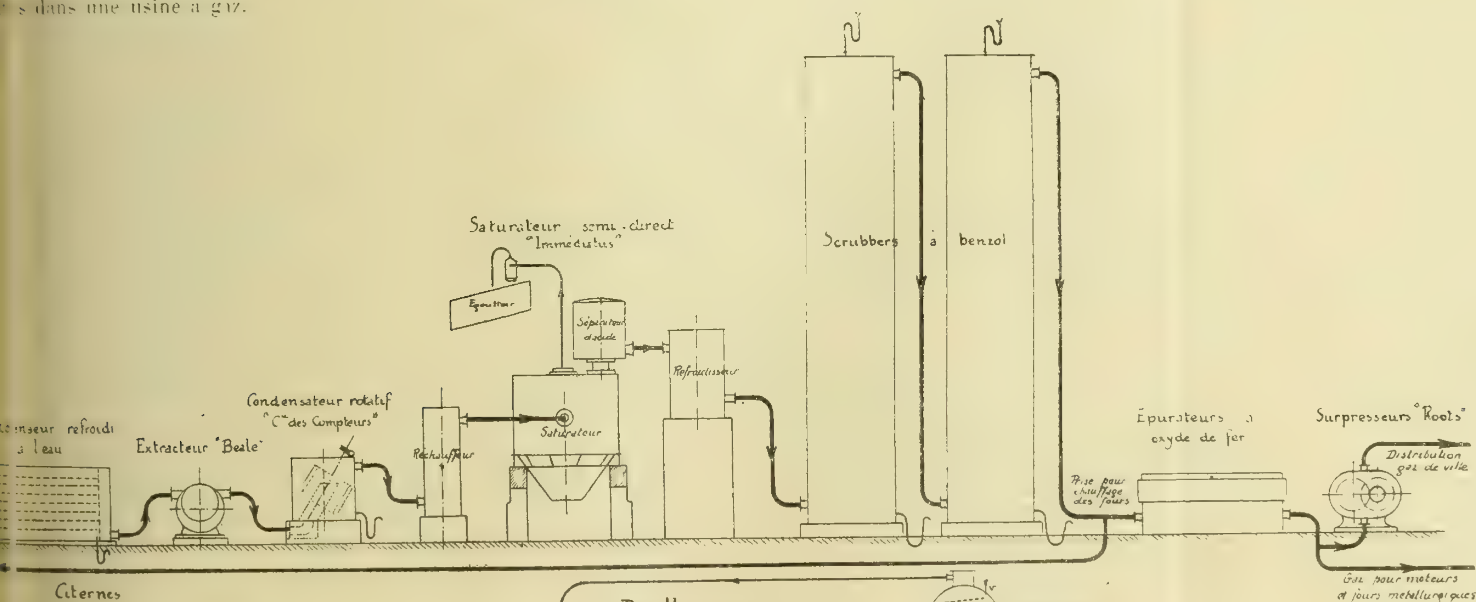
Plan de défournement

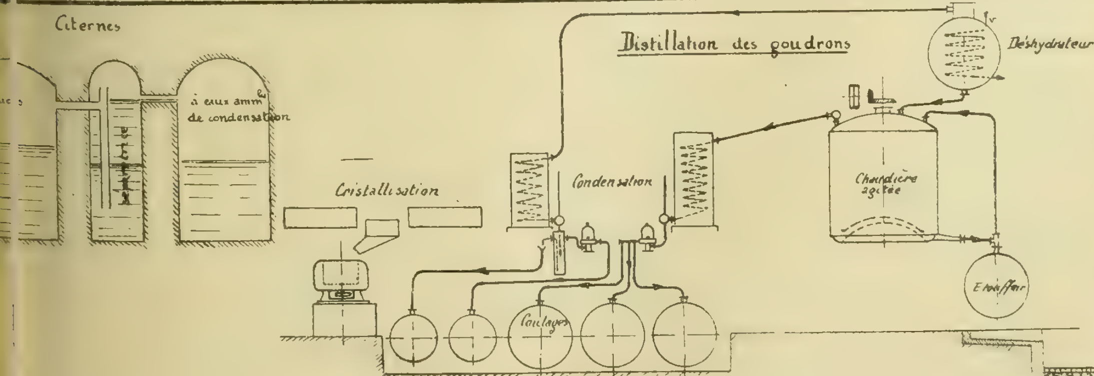
Distillation des eaux ammoniacales de condensation

Fig. 5. — Appar



s dans une usine à gaz.





tions dans une cokerie.

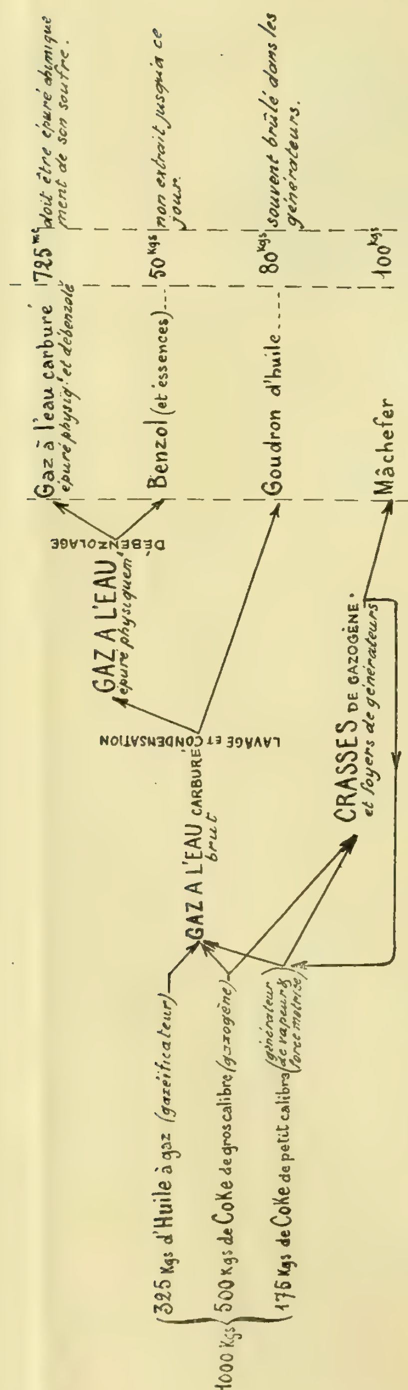


Fig. 6. — Fabrication de gaz à l'eau carburé.

« périodes » (d'injection de la vapeur), qui leur succèdent régulièrement et alternativement, sont dites « de fabrication » (du gaz) ou de « gazéification » (1).

On distingue les procédés où, pendant la phase de réchauffage du combustible, l'air en traverse une couche épaisse (3 m) donnant un gaz riche en oxyde de carbone, et les procédés où, par soufflage à grande vitesse, à travers une couche de combustible de 1 à 2 m, on obtient des produits de combustion riches en gaz carbonique.

On peut échauffer, avec les produits de la combustion complète ou avec les produits de la combustion incomplète brûlés par une addition d'air, des récupérateurs faisant partie intégrante du groupe d'appareils. Il en découle deux nouvelles catégories suivant que la chaleur récupérée est utilisée pour le réchauffage de l'air de soufflage et de la vapeur d'injection ou pour la décomposition de l'huile de carburation. Les premiers systèmes (dont le prototype est celui de Tessié du Mottay) produisent du gaz à l'eau pur qu'on peut carburer ou non dans la suite; les seconds (type Lowe) produisent directement du gaz à l'eau carburé.

Dans les appareils anglo-américains d'Humphreys et Glasgow (fig. 7) dérivés de ceux de Lowe,

(1) Le gaz ainsi fabriqué contient forcément un peu d'azote provenant de l'air introduit pendant le soufflage.

le gaz de gazogène formé pendant le soufflage est brûlé, par des additions d'air, dans des chambres de récupération où la chaleur de combustion emmagasinée par des poteries, sert à dissocier l'huile, puis à « fixer » les vapeurs carburantes. Dans les appareils du système anglais (Tully), ou du système hollandais (Rincker et Wolter), on décompose l'huile sur le coke incandescent. C'est aussi le procédé employé dans le petit appareil de la Société de Construction d'Appareils pour Gaz à l'Eau et Gaz industriel (fig. 8). Le

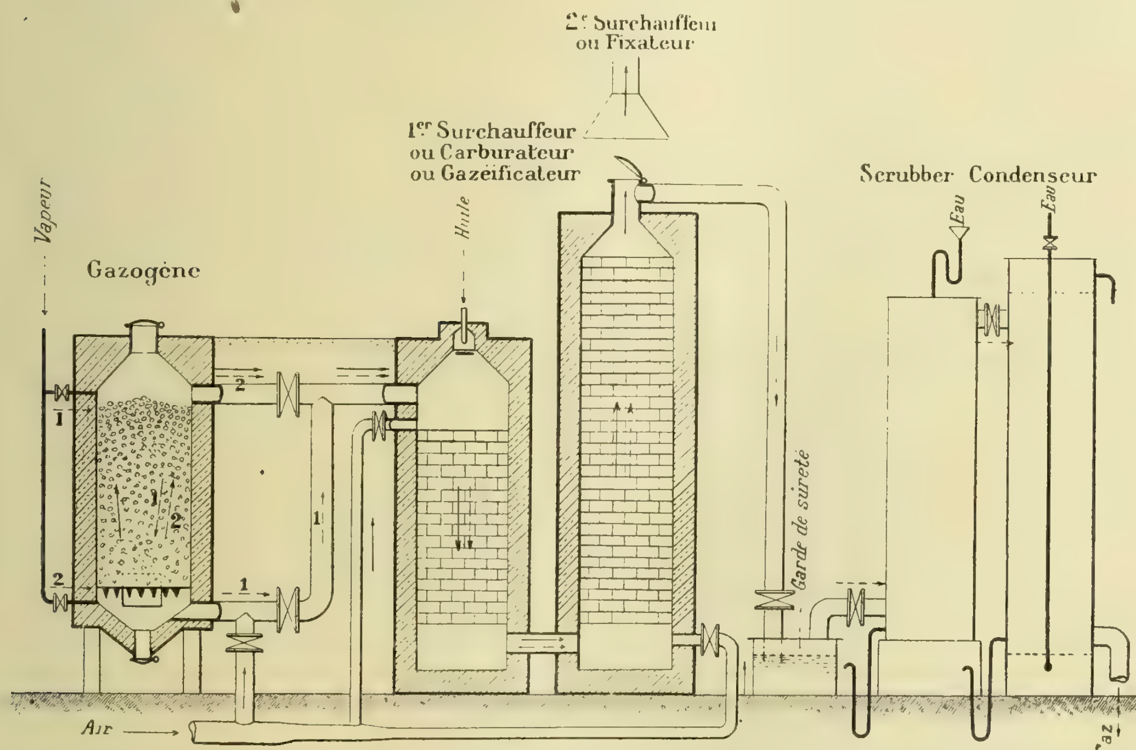


Fig. 7. — Schéma de l'appareil Humphreys et Glasgow. Gaz carburé.

gaz à l'eau, ainsi carburé, possède une flamme fort éclairante; il est très comparable au gaz de houille. Cependant son pouvoir calorifique, son pouvoir comburivore et sa densité sont plus élevés, alors que son potentiel thermique n'est au plus égal qu'à celui du gaz de houille. Son excès de densité peut être compensé, d'ailleurs, par une augmentation de la pression de distribution.

Autorisés, enfin, à fournir du gaz de ville contenant 15 p. 100 d'oxyde de carbone, les gaziers peuvent ajouter : soit à 75 volumes de gaz de houille contenant 9 p. 100 d'oxyde de carbone, 25 volumes de gaz à l'eau contenant 32 p. 100 d'oxyde de carbone, soit à 65 volumes de gaz de houille contenant

9 p. 100 d'oxyde de carbone, 35 volumes de gaz à l'eau carburé contenant 26 p. 100 d'oxyde de carbone, alors qu'on pourrait en produire 50 contre 50 volumes en utilisant tout le coke de calibrage convenable, disponible

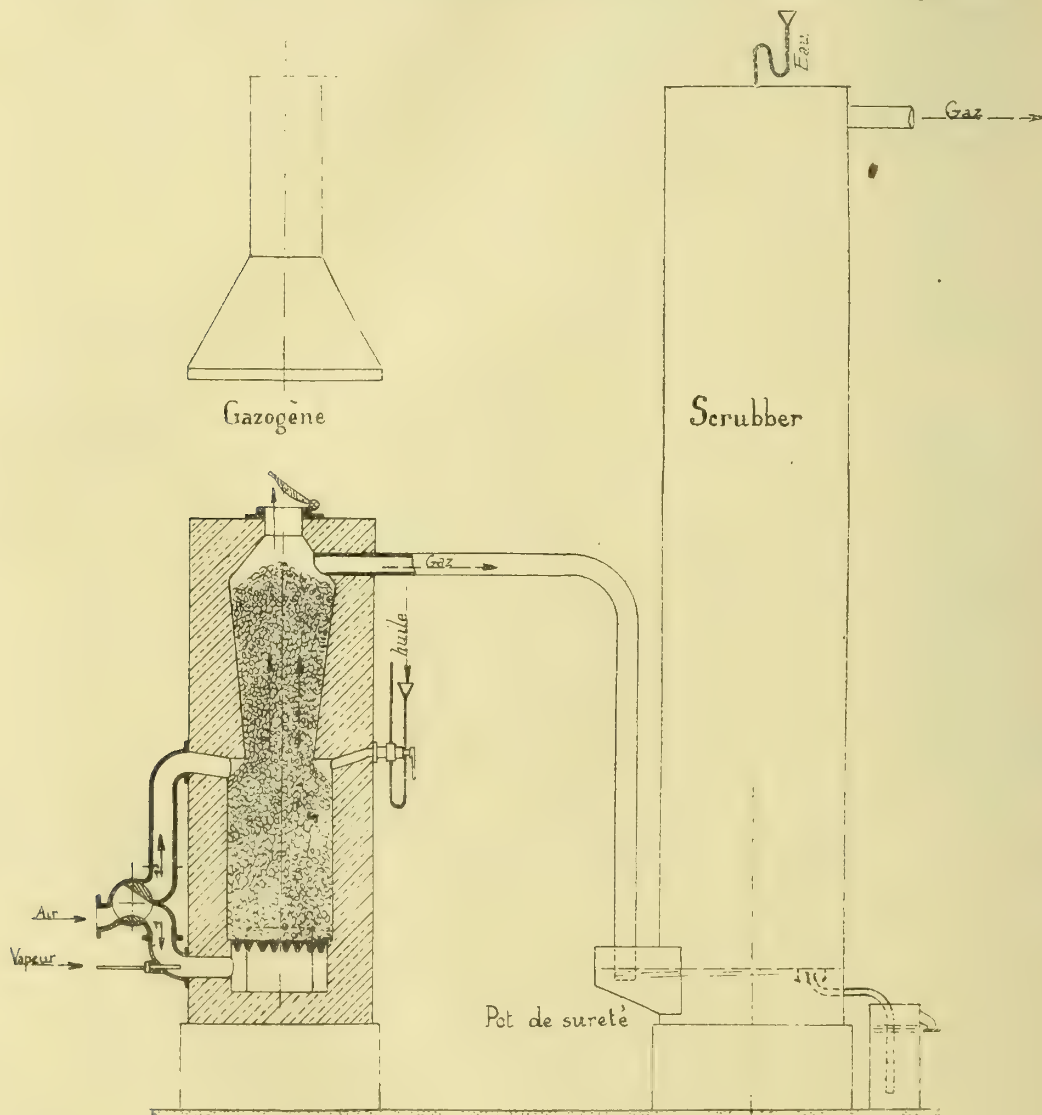


Fig. 8. — Schéma de l'appareil de la Société de Construction d'Appareils pour Gaz à l'eau. Gaz carburé.

après fabrication du gaz de houille. Cette teneur de 15 p. 100 d'oxyde de carbone admise à grand'peine par notre Conseil supérieur d'Hygiène peut paraître, bien timorée encore, à ceux qui savent que : de très nombreuses exploitations de l'étranger distribuent du gaz à l'eau carburé pur (Boston,

Chicago, par exemple) ou en introduisent jusqu'à la moitié dans leur gaz mixte (New-York, 40 p. 100; Liverpool, 50 p. 100); que du gaz à l'eau, non carburé, pur est distribué dans plusieurs villes étrangères ou est mélangé en forte proportion au gaz de houille dans beaucoup d'autres.

Dans les appareils allemands de Dellwick-Fleischer (fig. 9), où l'on réalise une combustion complète pendant le soufflage, on ne fabrique, en principe,

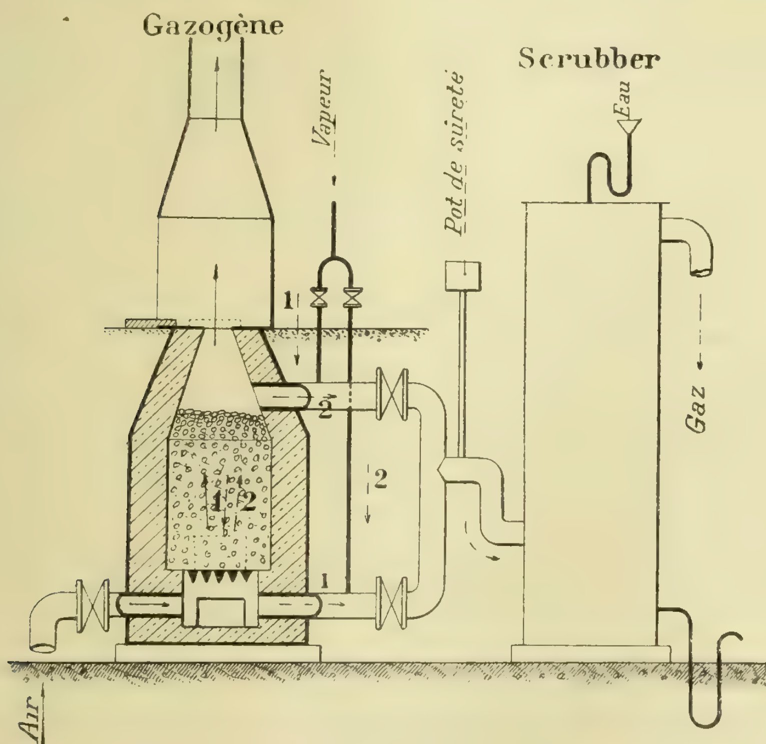


Fig. 9. — Schéma de l'appareil Dellwick-Fleischer. Gaz non carburé.

que du gaz à l'eau à flamme bleue, que l'on enrichissait au benzol pour satisfaire aux exigences de pouvoir éclairant des anciens cahiers des charges, enfin abandonnées.

Mais, pour satisfaire aux exigences de notre Conseil supérieur d'Hygiène, il faudra, dans les installations existantes, mélanger ce gaz bleu à du gaz d'huile qui possède une odeur aussi caractéristique que celle du gaz de houille. Nous avons démontré, dans le *Journal des Usines à gaz*, que le rendement thermique final des fabrications séparées de gaz à l'eau et de gaz d'huile est bien moins bon que celui de leur fabrication simultanée comme dans les deux types d'appareils des figures 7 et même 8.

Quel que soit le système de gazogène employé, le gaz fabriqué doit être

refroidi et lavé à l'eau dans un scrubber. On devrait, de plus, laver le gaz à l'eau carburé après dégoudronnage, à l'huile ou au crésol pour en extraire, en quantité double de celle qu'on retire du gaz de houille, du benzol et d'autres hydrocarbures valant trois fois plus que le « gas oil ». Ainsi se trouverait réalisée accessoirement, partiellement et économiquement la transmutation par simple cracking de l'huile lourde de pétrole, en carburant volatil.

Le benzol, sa récupération, ses traitements, ses emplois, ses disponibilités, son prix de vente.

Pour la définition du benzol, nous ne pouvons mieux faire que d'extraire quelques lignes d'un exposé très résumé et très clair de notre associé de la région du Nord, M. Vasse.

Le mot benzol désigne actuellement plusieurs produits commerciaux qui sont tous des mélanges d'hydrocarbures provenant de la distillation de la houille. Presque toujours, il s'agit du benzol 90 ou benzol pour moteurs. Ce terme nous vient d'Allemagne, où l'on appelle « benzin » l'essence de pétrole. En France, nous continuons à appeler benzines, des produits spéciaux tirés du benzol : la benzine cristallisable; la benzine pure; la benzine lourde type régie.

Les principaux composés chimiques qui constituent le benzol sont : le benzène, le méthylbenzène ou toluène, les diméthylbenzènes ou xylènes, les triméthylbenzènes ou cumènes. Le benzol brut contient, en plus ou moins grande quantité, d'autres produits : naphtaline, phénols, pyridine, composés sulfurés, mais qui constituent des impuretés pour les benzols commerciaux, aussi fait-on subir à ce benzol des traitements dans le but de l'en débarrasser. Nous considérerons donc que les benzols commerciaux sont des mélanges en proportions variables des quelques produits que nous venons d'énumérer.

Ces produits sont tous des liquides incolores et mobiles d'aspects identiques et d'odeurs analogues. Leurs propriétés chimiques sont voisines. Nous les distinguerons par leur température d'ébullition et par leur densité.

	Points d'ébullition.	Poids spécifique.
Benzène C^6H^6	81°	0,884
Toluène C^7H^8	111°	0,870
Xylènes C^8H^{10}	140° (voisin de)	0,865 (voisin de)
Cumènes C^9H^{12}	170° —	0,884 —

Si on laisse de côté la fabrication de benzol par pyrogénation des pétroles, pratiquée autrefois, et les carbures aromatiques contenus dans certains

pétroles comme ceux de Bornéo et de Sumatra, on peut dire qu'il n'y a que deux sources de benzol brut : la plus ancienne est le goudron de houille et, sur la foi des traités de chimie, on l'a longtemps considérée comme unique, alors que le goudron ne fournissait plus qu'une très faible partie de la production totale. On retrouve, en effet moins de 500 g de benzol dans le goudron fourni par 1 t de charbon à gaz, alors que le gaz correspondant en contient plus de 9,5 kg, d'après M. Sainte-Claire Deville.

Les carbures volatils qui, par leur mélange, constitueront le benzol, sont formés dans la cornue ou le four même, pendant la distillation de la houille. Ils se trouvent à l'état de vapeurs, dilués dans une grande masse de gaz qui en contient, suivant les charbons mis en œuvre, de 20 à 40 g par mètre cube. Pour le charbon à gaz, on compte généralement 30 à 45 g.

Il semble que ce fut Carvès qui eut le premier l'idée d'extraire le benzol du gaz des fours à coke (brevet anglais 15.920, 1884). Il employait, pour l'absorption du benzol, les parties lourdes des huiles obtenues par la distillation du goudron de ses fours. Son procédé est encore actuellement le seul employé par la généralité des cokeries; seul l'appareillage a été perfectionné. Il consiste à mettre en contact plus ou moins intime, pendant un temps suffisant, le gaz des fours avec de l'huile lourde anthracénique ou moyenne à phénol de goudron de houille (1) qui dissout et s'incorpore les vapeurs de benzol. On se sert, dans ce but, de tous les systèmes de laveurs que nous avons signalés à propos de la récupération de l'ammoniaque par l'eau (fig. 10).

L'huile a retenu une certaine quantité des carbures volatils qui composent le benzol, quantité toujours faible, car l'huile est un bien mauvais dissolvant qui ne se charge que de 2 à 3 p. 100 de son poids de benzol. Après passage dans les laveurs, il reste encore, dans le gaz des cokeries, d'après M. Ch. Berthelot, plus de 5 g de benzol non absorbé, et 11 g dans le gaz des usines à gaz, d'après M. Sainte-Claire Deville. On peut escompter des résultats meilleurs avec des procédés plus modernes : M. Brégeat emploie comme dissolvant les crésols dont l'affinité pour le benzol est beaucoup plus grande que celle de l'huile. Ils peuvent, sans être saturés, en retenir des quantités plus considérables et ils permettent la récupération presque intégrale de ce produit. L'inventeur estime, d'autre part, que les frais d'établissement, pour un même atelier de récolte de benzol, sont réduits d'un tiers. Le procédé Brégeat, qui est breveté, a été appliqué, pendant la guerre, à la récupération des coûteux solvants du coton-poudre, avec plein succès. Ses applications se multiplient à l'étranger, particulièrement aux États-Unis et en Allemagne. Les

(1) On emploie en Amérique, du « straw.oil », pétrole lourd distillant au-dessus de 230°, qui ne doit donner aucun louche à 4°.

mines de Carmaux l'ont adopté pour la récupération du benzol dans leurs deux batteries de 60 fours (1).

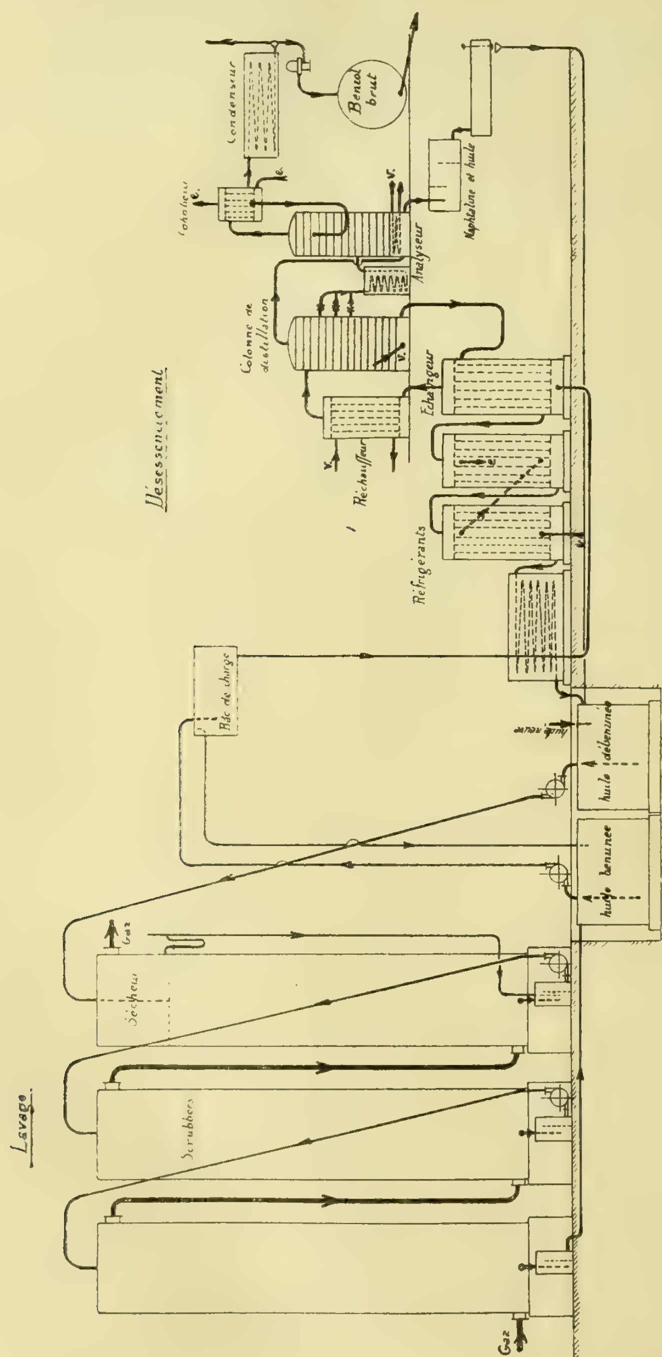


Fig. 10. — Schéma de la récupération du benzol.

(1) Pour plus de détails, voir notre étude sur le débenzolage du gaz, dans le *Génie civil* du 8 novembre 1919.

Notons en passant qu'on reparle de la récupération du benzol par réfrigération du gaz à 60°. Les frigories sont tellement coûteuses qu'il est à craindre qu'on ne réussisse pas mieux que Heinzerburgen en 1894

Comme on peut s'en rendre compte d'après la figure 10, l'huile ou le dissolvant chargé de benzol sortant des laveurs, est ensuite chauffé et soumis à l'action de la vapeur d'eau, à une température telle que le benzol est volatilisé; on le condense par refroidissement et l'on recueille un liquide incolore ou ambré, d'odeur désagréable, à cause des composés sulfurés qu'il renferme. Cette opération, que l'on appelle le *désessenciement*, se fait dans une colonne à plateaux. Il est bon d'éliminer la naphtaline et les huiles, suivant le dispositif, représenté sur le schéma, et qui est adopté par de nombreux constructeurs (Brégeat, Coppée, etc.).

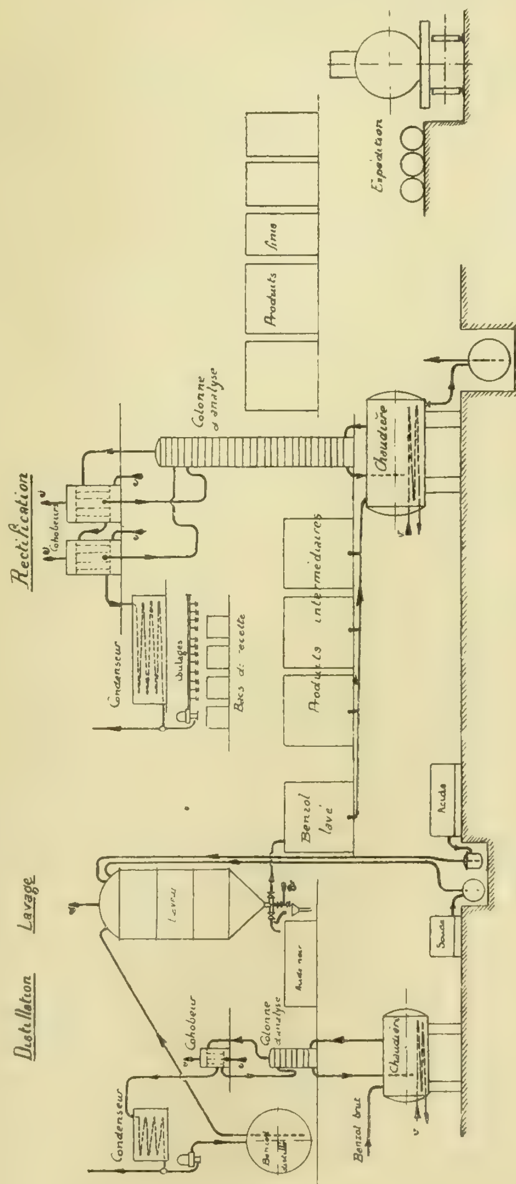


Fig. 11. — Schéma de la rectification du benzol. Système « Gravitas ».

L'huile refroidie retourne dans les laveurs pour dissoudre une nouvelle quantité de benzol, avant de revenir au désessenciement, de sorte que le cycle est complet.

Pour pouvoir être utilisé, le benzol brut, qu'une première distillation débarrasse en grande partie de la naphtaline et des huiles qu'il contient encore, doit être épuré par un traitement à l'acide sulfurique et à la soude qui lui enlèvent une partie des composés sulfurés, la pyridine et les phénols. Cette opération se

pratique dans une batteuse agitée mécaniquement ou mieux par l'air comprimé en circuit fermé (fig. 11); on soumet alors le benzol lavé à des distillations fractionnées qui le partagent en plusieurs produits à points d'ébullition différents.

Les appareils de distillation (fig. 11) qui servent à rectifier le benzol brut, sont analogues à ceux qu'on emploie pour l'alcool. Ceux qui étaient en service avant la guerre permettaient, en général, de scinder le benzol brut assez facilement en quatre produits : le benzol 90, le benzol 50, le solvent-naphta et la benzine lourde type régie.

Les chiffres 90 et 50 indiquent des résultats d'essais de laboratoire (sur la quantité de distillat passant à la distillation fractionnée avant 100 et 50° entre autres); ils ne préjugent en rien de la composition du produit. En fait, le benzol 90 renferme environ 75 p. 100 de benzène, 24 p. 100 de toluènes et 1 p. 100 de xylènes. Le benzol 50 contient 50 p. 100 de benzène, 40 p. 100 de toluènes et 10 p. 100 de xylènes. Ces mélanges sont ainsi composés, parce que les appareils les donnent tels avec les benzols bruts couramment récupérés; ils ne répondent à aucune nécessité d'emploi. Le commerce a dû les adopter tels quels.

Les appareils se perfectionnant, le benzol 50 a à peu près disparu; il a été remplacé par le toluol, qui est un toluène impur. Quant au benzol 90, M. Vasse estime qu'il subira le même sort. Déjà, avant la guerre, une petite lutte s'était engagée entre producteurs qui livraient comme un produit soi-disant supérieur du 95, du 96 et même du 97. Or, du 97 à la benzine cristallisable ou même à la benzine pure, l'écart n'est pas grand. Les appareils modernes permettent la fabrication aisée des benzines cristallisables ou pures. Y a-t-il lieu de s'arrêter à des mélanges qui ne correspondent à aucune impérieuse nécessité? On pourra objecter que l'automobile n'a que faire de produits purs, que les produits facilement cristallisables sont incommodes en hiver, que le benzol 90 est meilleur marché à produire qu'un produit plus rectifié. Les automobilistes ont pourtant fort bien accueilli les benzols 97 qu'on leur offrait et l'aviation, par exemple, pour ses essences, a réclamé pendant la guerre des produits toujours plus homogènes. On sait que cette question d'essence a été, à un moment donné, une des raisons de la supériorité momentanée de l'aviation allemande (1).

D'ailleurs, un produit pur offre toujours le maximum de garantie pour l'acheteur.

Enfin, les demandes des fabriques de matières colorantes, qui n'utilisent que des produits purs, doivent inciter le fabricant à orienter sa fabrication de ce côté.

(1) Voir notre étude sur l'*essence aviation* dans le *Génie civil* du 22 novembre 1919.

Il ne faut cependant pas exagérer : si, pendant la guerre, il était logique

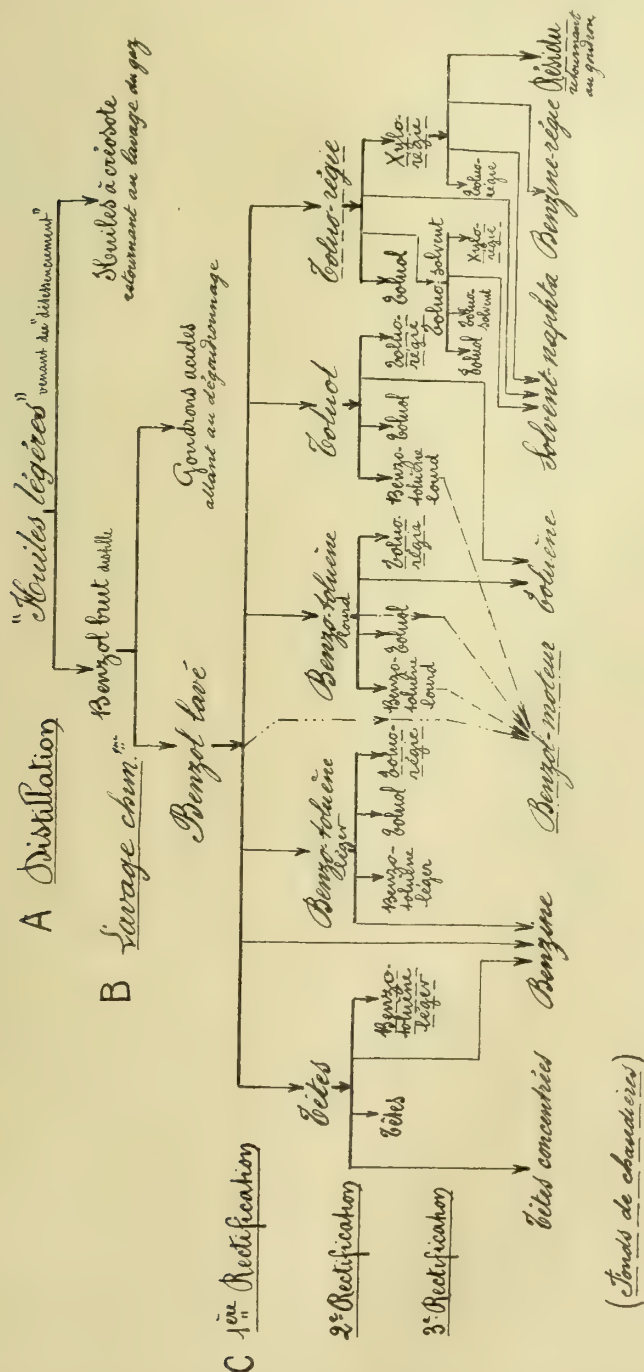


Fig. 12. — Traitement du benzol par le procédé G. V.

de rectifier le benzol lavé dans des appareils continus, car on devait pro-

duire exclusivement et en grandes quantités de la benzine et du toluène purs, il n'en va plus de même à présent. Le marché n'exigera que de petites quantités de produits réellement purs.

Quant aux produits à points d'ébullition plus élevés, comme le solvent et la benzine régie, ils seront encore fabriqués comme avant mais il faut prévoir des demandes de deux sortes de solvents et de xylènes bruts. La séparation des trois xylènes étant une opération entièrement chimique, ne paraît pas relever du distillateur de benzol.

Le tableau synoptique de la figure 12 montre comment nous avons organisé le traitement du benzol brut pour répondre aux besoins commerciaux actuels et aux demandes de produits assez purs en ne choisissant que les cœurs en cours de rectification. On remarquera sur ce schéma, destiné à la Société Nouvelle des Usines de Libercourt, dont le distingué administrateur-directeur, M. Savourat, développe les fabrications, que nous évitons de classer le benzol en légers et lourds avant le lavage, car, d'après notre expérience personnelle, c'est une grave erreur industrielle.

Il faut laisser, au contraire, les benzols lourds mélangés à la benzine pour éviter des sulfonations grosses d'inconvénients et qui se produisent même si on emploie des acides très faibles avec les deuxièmes jets ou solvents bruts. De même, nous évitons de charger sur les fonds de chaudière, ce qui modifie la composition de la masse à traiter et les résultats de la rectification suivante. Nous nous arrangeons pour opérer sur des produits de concentration toujours pareille.

Le benzo-toluène, produit intermédiaire abondant et voisin du benzol 90, peut sortir du cycle comme benzol moteur.

Vous ayant rappelé ce qu'est le benzol, comment on le récolte et on le traite, nous apporterons quelques chiffres relatifs à la production française de ce carburant.

En 1913, nos cokeries produisaient, par lavage de leur gaz, 10.400 t de benzol évalué en produits commerciaux, et on en retirait 100 t du goudron.

Pendant la dernière année de la guerre, la production de benzol atteignit :

Cokeries (malgré la suppression des grandes installations du Nord)	8.400 t
Usines à gaz	13.000 —
Distilleries de goudron	100 —
Total	21.500 t

Les 13.000 t de benzol produites par le lavage du gaz d'éclairage se décomposaient comme suit :

Paris	6.480 t
Banlieue parisienne	3.150 —
Lyon	1.180 —
Nantes	480 —
Le Havre	400 —
Marseille	390 —
Bordeaux	350 —
Saint-Étienne	330 —
Nanterre	130 —
Toulouse	110 —
Total	13.000 t

Ces chiffres tiennent compte d'un déchet moyen de 25 p. 100 sur le benzol brut.

On sait que c'est en vertu de la loi spéciale du 29 novembre 1915, que les usines à gaz françaises ont recueilli, pour le Service des Poudres, le benzol contenu dans le gaz de distillation de la houille, comme cela se pratique, depuis près de 30 ans, dans un nombre toujours accru de fours à coke à récupération de sous-produits. Sous la poussée du besoin croissant d'explosifs, la France s'est décidée, après l'Allemagne, comme l'Angleterre et l'Italie d'ailleurs, à recourir à cette source d'hydrocarbures volatils, fort importante, puisque, avec des installations souvent improvisées et peu appropriées, on a pu recueillir ainsi, chez nous, plus de benzol dans les usines à gaz (16.000 t en produits bruts pour une année) qu'on n'en récoltait avant la guerre dans les cokeries (12.000).

Peu après l'armistice, les contrats passés avec les Anglais et les Américains n'ayant pu être résiliés rapidement, et tous les réservoirs affectés au stockage de benzol et de benzine étant pleins, un arrêté du Ministre de la Guerre vint suspendre le débenzolage dans les usines à gaz, conformément aux prévisions de l'article 4 de la loi précitée.

Si notre organisation administrative comportait moins de cloisons étanches, on aurait dû :

1° Passer, sans heurt, les stocks accumulées au Ravitaillement ou au Comité des Pétroles et des Combustibles;

2° Maintenir, dans les usines outillées, quitte à la réduire momentanément, la récolte du benzol, succédané de l'essence seul réellement capable, soit pur, soit même sous forme d'alcool carburé (carburant national), d'en combattre l'élévation de prix.

Contrairement à certaines suppositions gratuites, les gaziers sont partisans du débenzolage, en vue d'une utilisation optima de nos ressources nationales. Evidemment, beaucoup d'entre eux ne tiennent pas à se le voir imposer dans leurs usines : par suite des défectuosités des installations qu'on leur a

montées pendant la guerre, ils ne tiraient pas d'avantage pécuniaire sensible de cette opération, mais, par contre, elle leur occasionnait souvent des ennuis supplémentaires dans leur exploitation, comme dans telle usine où une réfrigération insuffisante avait amené des obstructions de la canalisation par la naphtaline. Il suffirait de fournir à ces gaziers des appareils convenables pour les faire revenir sur leurs préventions.

Quant au public, mal renseigné, sinon trompé par des campagnes partiales de journaux, il s'est figuré que le débenzolage était la cause du fonctionnement défectueux des appareils à gaz. Il a pu se rendre compte, quand le charbon manquait et que le débenzolage était arrêté, qu'il aurait fallu incriminer le manque de pression et les irrégularités de qualité, qui étaient imputables à la pénurie des arrivages et aux mauvais charbons distillés.

Nous écrivions, en 1919, qu'étant donnée notre situation d'importateurs d'essence peu favorisés, ce serait un crime de ne pas récupérer dans les cokeries et les usines à gaz tout le benzol possible. En particulier, nous demandions que le débenzolage du gaz fût repris sans tarder dans les usines à gaz importantes.

L'intervention du Parlement est indispensable pour imposer cette mesure dans les grandes et moyennes usines; il devrait évidemment, en même temps, faire activer l'établissement, par l'administration compétente, du contrat-type pour toutes les concessions existantes ou futures, et résoudre le problème de l'utilisation optima du charbon et du coke, en définissant la qualité du gaz par ses caractéristiques vraiment utiles.

Un projet avait été en partie élaboré dans ce sens par le précédent gouvernement. On peut toujours craindre, chez nous, que des questions économiques d'intérêt général, comme celle-là, soient enterrées à la suite d'une crise ministérielle! Nous croyons savoir qu'un nouveau projet sera très prochainement déposé à la Chambre des députés. Espérons qu'il apportera une solution rapide et efficace du problème du débenzolage!

Par contre, dès le 12 août 1920, le Reichstag a autorisé le gouvernement allemand à dégrever de l'impôt sur le charbon une certaine quantité de tonnes de houille pour chaque tonne de goudron ou de benzol produite dans les cokeries et les usines à gaz! Il a été entendu, en Allemagne, à la suite de copieuses discussions techniques et économiques, que même les *petites* usines à gaz ont intérêt à procéder à l'extraction du benzol et qu'en tout cas, les considérations supérieures d'ordre national et « militaire » doivent l'emporter!

On doit pouvoir recueillir annuellement, dans les usines à gaz françaises, 25.000 t de benzol. Sa suppression dans le gaz n'en abaisse pas la valeur

intrinsèque de 7 p. 100 pour les applications caloriques dans lesquelles on peut ranger l'éclairage par incandescence. Ce benzol, sous forme de gaz, ne représente que 7 à 8 millions de mètres cubes, d'une valeur marchande totale de 4 millions de francs (à 0,55 f le mètre cube), tandis que, comme matière première de produits chimiques, solvant, carburant volatil, sa valeur marchande, voisine de celle de l'essence, approcherait de 50 millions de francs. Et c'est logique, car au point de vue de l'économie générale, ce benzol est, par rapport au gaz, un produit plus raffiné et plus condensé de la houille, présentant de grandes facilités d'emmagasinage, de transport et susceptible d'applications très variées en tous lieux.

Si l'on arrive, comme il faut le souhaiter, à carboniser en France, avec récupération des sous-produits, toute la houille correspondant aux besoins en coke de notre industrie métallurgique non ralentie, voire développée, on produira, dans les cokeries, d'ici quelques années : 65.000 t de benzol. Ajoutées aux 25.000 t qu'on pourra récupérer dans les grandes et moyennes usines à gaz, elles nous permettraient de couvrir plus que notre consommation de benzol d'avant-guerre qui était de 80.000 t (dont 68.000 t importées). Cette quantité déjà imposante de carburant produit en France pourrait enfin entrer en ligne de compte avec l'essence importée, bien que nous soyons des acheteurs négligeables pour le commerce mondial de pétrole et bien qu'on ait estimé que notre consommation annuelle totale en carburants pourrait atteindre, ces années-ci, 650.000 t sans compression.

En réalité, avec les prix insensés atteints par l'essence chez nous, avec l'influence des stocks d'État, la consommation n'a pas dépassé 309.000 t en 1919, soit la moitié de l'estimation ci-dessus en tenant compte de la consommation des autres carburants.

Nous n'avons fait allusion qu'au débouché principal du benzol qui est incontestablement le moteur à explosion, d'automobile surtout. Mais nous ne voudrions pas cependant sous-estimer les besoins de l'industrie chimique, que M. Grandmougin évalue à 5.000 t de benzène pour les matières colorantes. On connaît les différentes applications du benzol dans la pharmacie, la peinture, les vernis, les cirages, le dégraissage des os et autres matières, l'extraction des huiles, l'industrie du caoutchouc, l'éclairage, la fabrication de produits de condensation phénol-formol (bakelite), etc., qui, pour être moins importantes, ne sont pas moins intéressantes.

Comme nous avons contribué autrefois, à créer et à développer le débouché du benzol dans l'automobilisme (1), on nous permettra de rappeler succinctement comment il faut utiliser ce substitut, le meilleur substitut de

(1) Voir notre communication à la Société des Ingénieurs civils de France sur l'*emploi du benzol dans les moteurs d'automobile* (*Bulletin* de mai 1908).

l'essence, dans les moteurs à explosion. Cela répondra d'ailleurs aux préoccupations de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale qui vous a fait exposer, il y a quinze jours, l'ensemble de la question de la crise des carburants par un ingénieur pétrolier, très entendu et très connu, M. Guiselin.

Et d'abord, précisons ce que doit être le benzol-moteur.

Les spécialistes qualifiés sont d'accord sur ce que les carburants légers, homogènes, sont préférables aux carburants hétérogènes dans les moteurs à mélange tonnant. D'autre part, la benzine assez pure est difficilement utilisable sur les voitures en dehors des saisons chaudes ou tempérées, puisqu'elle cristallise au-dessus de 0°. Les Anglais donnent leur préférence à un produit très chargé en toluène. Sans aller jusque-là, nous pensons qu'un benzol contenant 70 à 75 p. 100 de benzène, voisin du 90, est préférable à du 95-97. Ce produit est incomparablement plus serré comme fractionnement que la meilleure des essences d'automobiles. Nous avons vu comment on peut l'extraire au cours du traitement du benzol après le lavage chimique. En effet, quoi qu'on puisse dire, il nous paraît indispensable, de ne livrer aux automobilistes que des benzols lavés et distillés au moins une fois après l'opération de désessenciement, même avec classement immédiat.

La grande similitude du benzol et de l'essence a été la cause de bien des déboires au début de l'emploi du benzol, époque où les carburateurs étaient très défectueux.

Le benzol représentant 8.500 calories au litre, 10.000 calories au kilogramme, l'essence 7.500 et 10.500, vapeur d'eau non condensée, la consommation de benzol est théoriquement plus faible en volume (13 p. 100 au moins) et légèrement plus forte en poids avec le benzol qu'avec l'essence. C'est ce que la pratique confirme, bien que le rendement soit légèrement meilleur avec l'essence qu'avec le benzol (3.150 calories par cheval-heure à pleine puissance au lieu de 3.400).

Il s'ensuit qu'en général il y aurait lieu de réduire un peu la section du gicleur du carburateur (10 p. 100), bien que l'augmentation de densité (0,885 au lieu de 0,700) réduise le débit du gicleur sensiblement dans la même proportion. Cette différence de densité justifierait aussi l'alourdissement du flotteur pour ramener le niveau constant. Avec les carburateurs et les essences actuelles, la substitution de carburant peut ordinairement se faire sans rien modifier.

Quant à la puissance développée par un même moteur, elle a été quelquefois plus grande avec le benzol qu'avec l'essence. Théoriquement, cette supériorité n'est que de 3 p. 100 à égalité de réchauffage, car les énergies calorifiques (eau-vapeur) représentées par une cylindrée d'un litre de mélange parfait air-carburant sont respectivement de 0,900 cal et 0,873 cal.

La vitesse de propagation de l'explosion, qu'on pourrait d'ailleurs améliorer par l'augmentation de la compression, est, toutes autres choses égales, plus faible avec le benzol. Il faut donc augmenter l'avance à l'allumage (2,7 mm au lieu de 2 mm pour des moteurs Brillié).

A cause de sa grande tendance au givrage, de sa tension de vapeur modérée (109 mm de mercure à 15° contre 255 mm pour l'essence 0,700), de sa teneur élevée en carbone moins facile à bien brûler (92,2 p. 100 au lieu de 84,3 pour l'essence), le benzol réclamerait plus de réchauffage, modéré au giclage et accentué sur les gaz.

Avec le benzol, la nécessité d'un dosage rigoureux (l'excès d'air devant d'ailleurs être limité à 1/10) est plus marquée qu'avec l'essence pour éviter les combustions incomplètes. Si l'on obtient facilement un pourcentage de 14 de gaz carbonique dans les produits de combustion avec l'essence contre 14,4 théoriques, on n'atteint guère que 16,5 p. 100 de gaz carbonique avec 0,5 p. 100 d'oxygène dans les produits de combustion avec le benzol contre 17,4 théoriques.

Enfin, le benzol se congèle vers — 6°, — 8° par temps froids. On peut lui ajouter du toluène pour abaisser son point de congélation : on peut lui ajouter aussi de l'essence, 15 à 20 p. 100. A ce sujet, les mesures cryoscopiques, faites par M. Prévost à l'Usine de la Société L.-B. et C. à Petit-Quevilly, n'étaient pas tout à fait d'accord avec les conclusions du Commissariat des Pétroles, quand il s'est agi de liquider des stocks de benzine pure, cristallisant à + 5°.

A froid, les départs sont un peu plus difficiles qu'avec les essences légères mais pas beaucoup plus qu'avec les essences 0,740-0,750 qu'on livre maintenant dans le commerce. On sait comment il convient d'opérer.

Ces indications peuvent paraître superflues à l'heure actuelle où l'emploi du benzol est entré complètement dans les mœurs de l'automobilisme. Peu de personnes se doutent maintenant des efforts qui ont été nécessaires pour faire adopter ce merveilleux succédané de l'essence, il y a une douzaine d'années !

Nous ne nous étendrons pas, ici, sur ce que peut être le rendement pécuniaire de ce sous-produit de la distillation de la houille dans les grandes et moyennes usines à gaz. Qu'il nous suffise d'indiquer que, ces temps-ci, lorsque le pétrole lampant ordinaire, se vendait 1,50 f, l'essence « tourisme » 2,30 f, l'essence « poids lourds » 1,95 f, on vendait très bien le benzol des stocks français 2 f le litre, encore que du benzol américain ait pu être offert à 1,75 f. Le prix du benzol suivra toujours celui de l'essence avec un décalage de quelques centimes.

L'avenir de l'industrie gazière : Consommations, procédés de fabrication, traités de concession, prix de revient futurs du gaz.

Appartenant à une famille de gaziers, cokiers et électriciens, nous avons entendu réfuter, dès notre plus tendre enfance, les prédictions pessimistes et naïves sur la fin prochaine de l'industrie du gaz, qui n'est pas encore... enterrée.

Datant industriellement à Paris de 1820, le gaz a subi les assauts de l'électricité pour la suprématie dans l'éclairage public en 1878 (bougie Jablokoff), dans l'éclairage privé en 1889 (lampes à incandescence Edison). En 1900 (consécration de l'éclairage privé et public par l'incandescence du gaz Auer), il reprenait le dessus. Pour parer au nouveau danger correspondant à l'apparition des lampes électriques à filament métallique (à 1 watt par bougie), vinrent les becs renversés qui n'apportaient pas d'ailleurs d'amélioration de rendement sur les petits becs droits intensifs, perfectionnés (1 litre par bougie-heure sphérique). Du domaine de l'éclairage privé, la lutte s'est trouvée transférée, encore une fois, dans celui de l'éclairage public avec les lanternes à incandescence par le gaz surpressé dont les installations se sont développées à Paris à partir de 1910; les lampes à arc-flamme ont été substituées aux lampes à arc ordinaires et l'on a essayé, en 1914, les lampes à incandescence dites 1/2 watt, dont l'emploi s'est répandu chez les particuliers.

Avec cette concurrence incessante, les besoins de lumière artificielle et de foyers puissants vont toujours croissants, stimulés par les progrès réalisés alternativement dans l'éclairage au gaz et dans l'éclairage à l'électricité. Sans qu'il faille craindre une régression trop brutale du premier mode d'éclairage, on ne peut guère espérer le voir se développer comme le deuxième. Il n'est pas impossible cependant que des procédés de combustion sous pression ou avec un comburant enrichi en oxygène, par exemple, viennent améliorer considérablement les rendements actuels de l'incandescence et redonner au gaz, dans cette branche, une grande supériorité économique,

Mais tout le monde est plutôt d'accord sur son avenir comme élément de chauffage, bien que l'élévation de son prix actuel puisse retarder l'accroissement de cette utilisation dont la prépondérance commençait déjà à s'accuser.

Comme nous l'avons dit, ce n'est qu'à partir de 1856 qu'on a pu songer à Paris, et pour la cuisine tout d'abord, à utiliser la caloricité du gaz. Les applications au chauffage domestique vinrent lentement ensuite. Il va, d'ailleurs, falloir orienter maintenant la construction des appareils de chauf-

fage au gaz non plus vers la fabrication bon marché, mais vers la création de modèles à bon rendement calorifique, pouvant, sans négliger la rapidité des opérations thermiques, supporter la comparaison avec les appareils électriques. Les électriciens développent, en effet, la vente de ceux-ci depuis la guerre surtout. Ils cherchent à se tailler une part dans la distribution instantanée des calories pour laquelle le gaz reste cependant l'agent le plus rationnel et le plus économique.

Au point de vue pécuniaire, nous avons montré en détail dans le *Journal des Usines à gaz* (5 et 20 février et 5 mars 1921), qu'à cause du rendement infime des fours-rôtissoires au gaz, la cuisson d'un rôti ne coûte plus que deux fois, deux fois et demie plus cher avec l'électricité qu'avec le gaz. Pour les autres chauffages culinaires et le chauffage domestique (1) où les rendements des deux concurrents sont moins éloignés, l'emploi de l'électricité est 8 à 10 fois plus coûteux que celui du gaz.

Au point de vue de l'utilisation définitive des calories de la houille chez l'usager, nous avons prouvé, lors de la discussion sur l'*Utilisation rationnelle des combustibles*, en juin 1920, qu'il faut, pour produire un même travail mécanique, un même chauffage, un même éclairage, détruire trois ou deux fois plus de charbon en passant par l'intermédiaire de l'électricité qu'en le transformant en gaz, coke, goudron et benzol.

Au point de vue de l'économie générale, c'est une lourde erreur que de rétrograder en chaleur de l'énergie électrique provenant elle-même d'un ennoblissement coûteux de calories. Restent l'utilisation de la houille blanche (2) perdue et l'amélioration du facteur de charge des installations hydro-électriques qui peuvent justifier l'accumulation d'énergie sous forme dégradée de chaleur, mais ne se prête qu'à des usages limités. Quoi qu'on puisse dire et bien que nous ne puissions qu'approuver les électriciens quand ils essaient d'égaliser leur débit d'énergie dans les 24 heures et dans l'année, nous ne croyons pas qu'on puisse raisonnablement penser à améliorer le facteur de charge d'une centrale thermique par le chauffage à accumulation. Le chauffage domestique ne peut d'ailleurs jouer que pendant une moitié de l'année. Quant au chauffage culinaire, il ne peut qu'accentuer la petite et la grande pointe journalière du débit d'éclairage et de force.

(1) On pousse, en ce moment, à l'emploi de radiateurs électriques bon marché qui sont de véritables projecteurs de radiations rouges et infrarouges. Faisant bon marché de l'hygiène du derme, on provoque, avec ces appareils, une sensation locale de chaleur qui ne peut se substituer au chauffage rationnel, dont le rôle est d'éviter des déperditions anormales de calories pour les personnes qui n'ont pas à se livrer à des exercices violents. Le chauffage par radiation doit être combiné au chauffage de l'atmosphère et il ne faut pas en abuser.

(2) On sait que la houille noire est de l'énergie solaire ancienne accumulée dans les plantes de l'époque houillère. On oublie facilement que la houille blanche provient de la chaleur solaire actuelle qui fond les glaciers, qui évapore l'eau à la surface du globe et la remonte ainsi sur les coteaux ou montagnes où les cours d'eau s'alimentent.

Il est vraiment regrettable de voir l'autorité supérieure, qui favorise sans mesure l'électrification générale, ne pas pousser parallèlement à la multiplication des grandes distributions de gaz de centrales gazières et de cokeries.

Passant sur les utilisations du gaz de houille et du gaz à l'eau pour des fabrications de produits chimiques (ammoniaque, hydrogène, etc.) dont on ne peut estimer la future importance, sans doute considérable, nous dirons quelques mots de leur emploi à la force motrice qui remonte, industriellement parlant, à 1860, et fut consacrée par l'exposition de 1889. Dans ce fief, le moteur électrique n'a pas tardé à se créer, grâce à sa commodité et sa divisibilité, une position inexpugnable et, pourtant, le moteur à gaz, fonctionnant avec un facteur de charge suffisant, est plus économique qu'un moteur électrique! En 1913, nous avions cherché à faire adopter, comme substitut de l'essence, le gaz de houille comprimé pour certains poids lourds à parcours limité. On a pris notre proposition et celle de M. Neu, pour une anticipation, et ce sont les Anglais qui ont réalisé cette idée française sur une certaine échelle. Il y aurait là un emploi si rationnel pour les excédents de gaz de fours à coke, inutilisés certains jours dans les fours métallurgiques et les distributions urbaines, que nous ne désespérons pas qu'on y vienne sérieusement un jour, même en France, d'autant plus que la crise des carburants devrait y inciter gaziers, cokiers, et constructeurs d'automobiles et exploitants de services de camions et autobus.

Le sujet de cette conférence est tellement vaste qu'il nous faut savoir nous borner. Nous avons déjà étudié ailleurs l'évolution dans les modalités de fabrication du gaz et du coke (1) qu'imposent le bouleversement économique et social résultant de la guerre.

La loi fixant la durée de travail à 8 heures s'ajoutant au manque de bras, à l'instabilité et aux besoins pécuniaires élevés des travailleurs manuels, il est indispensable de se libérer de la main-d'œuvre spéciale ou pénible, de supprimer les manœuvres banaux, d'augmenter le rôle de l'ingénieur dans l'exploitation des usines modernes. Cela correspond aussi à un accroissement considérable des immobilisations de capitaux, moyen qui permet parfois de supprimer le travail de nuit.

Une autre solution élégante, qui ne convient pas partout d'ailleurs, est celle des installations continues qui réduisent le personnel au minimum et utilisent le matériel au maximum.

En ce qui concerne les fours (2), il y a lieu de choisir, entre les divers systèmes, ceux qui procurent, *in fine*, le meilleur résultat financier, en

(1) *Journal des Usines à gaz*, des 5-20 février et 5 mars 1920.
(2) Voir, en particulier, *L'évolution des fours à gaz d'éclairage. Fours à chambres horizontales*, dans le *Genie civil* des 23 et 30 avril 1910.

tenant compte des rendements, des salaires, de la dépense de chauffage et force motrice, de l'intérêt, de l'amortissement des sommes engagées et des frais d'entretien du matériel. Aux points de vue de la main-d'œuvre et des immobilisations, la fabrication du gaz à l'eau est intéressante. Il ne faut pas croire toutefois que le gaz à l'eau, carburé « physiquement » au benzol ou « chimiquement » à l'huile, soit extrêmement meilleur marché à produire que le gaz de houille. Pour réfuter les affirmations toutes gratuites qu'on a propagées à ce sujet, nous citerons deux exemples de prix de revient brut au gazomètre, d'avant-guerre, en faisant observer que ces prix dépendent essentiellement des cours variables de la houille, du coke et du carburant.

Dans une grande usine du Nord de la France, les dépenses brutes de fabrication du gaz de houille étant de 0,065 f, celles du gaz à l'eau bleu enrichi au benzol, se décomposaient comme suit :

Coke.	0,017	
Vapeur	0,005	0,025 f
Main-d'œuvre.	0,003	
Benzol.		0,029 f
		0,054 f

Dans une grande usine d'un pays neutre, les dépenses brutes de fabrication du gaz de houille étant de 0,08 f, celles du gaz à l'eau carburé à l'huile se décomposaient comme suit :

Coke.	0,017	
Vapeur.	0,003	0,0235 f
Main-d'œuvre.	0,0035	
Huile		0,0400 f
		0,0635 f

Avec du charbon cher, le prix du gaz ne pouvant être augmenté proportionnellement à ce prix du charbon, il va falloir ne négliger aucun des sous-produits : coke, goudron, ammoniaque, benzol, soufre, cyanogène, chlore, etc. Il faudra non seulement éliminer du gaz les produits nuisibles ou inutiles, mais les récupérer économiquement. C'est ainsi que nous regrettons de n'avoir pas pu appliquer, jusqu'à ce jour, dans les usines à gaz, la sulfatation semi-directe que nous préconisons depuis 1911. Nous ne désespérons pas de voir ce procédé triompher un jour. Avec des transports coûteux, on doit ne réexpédier de l'usine à gaz ou de la cokerie, que des produits suffisamment manufacturés, pouvant supporter des frais de port, emballage et manutentions. Si les fabrications de produits finis de grande valeur commerciale n'obligent qu'à des dépenses supplémentaires assez faibles, elles exigent encore, par contre, une plus grande intervention du

personnel dirigeant. On s'est aussi beaucoup illusionné sur l'importance des bénéfices qu'on peut tirer de la récolte et du traitement des sous-produits de la houille. Nous donnerons, pour fixer les idées, dans le Tableau III, les prix de vente des sous-produits dans la région parisienne, avant-guerre, quand le charbon revenait à 22 f la tonne en usine et que le gaz se vendait 0,20 f le mètre cube; puis, à la fin de l'année dernière, avant l'effondrement des cours, quand le charbon revenait à 230 f et que le gaz se vendait 0,55 f le mètre cube (grâce à certaines augmentations de recettes accessoires et réductions des charges d'éclairage public).

TABLEAU III. — RENDEMENT DE LA VENTE DE TOUS LES SOUS-PRODUITS RÉCUPÉRABLES DANS LA FABRICATION DU GAZ DE HOUILLE, PAR TONNE.

	RENDEMENT MOYEN par tonne.	AVANT-GUERRE		FIN 1920	
		Prix des 10.00 kg.	Valeur.	Prix des 10.00 kg.	Valeur.
	kilogr.	francs	francs	francs	francs
Hydrocarbures liquides : *goudron* brut.	50 (*a*)	30	1,50 (*b*)	400	20 (*b*)
Hydrocarbures volatils : *benzol* du gaz rectifié	6	300	1,80	2.000	12
Ammoniaque sous forme de sulfate. .	8	300 (*c*)	2,40	2.000 (*c*)	16
Cyanogène estimé en cyanure jaune brut	1,5 (*a*)	500	0,75	2.000	3
Soufre estimé en acide sulfurique 60° B.	10	45	0,45	250	2.50
			7,10		53.50

(*a*) Quantités moindres dans les cokeries (2/3 à 1/2).
(*b*) Les produits de la distillation du goudron valent au moins le double.
(*c*) Il y aurait lieu de déduire la valeur de l'acide sulfurique.

Il faudrait évidemment mettre, en regard de la valeur marchande de ces sous-produits, les dépenses de réactifs, la main-d'œuvre, l'amortissement et l'entretien des appareils nécessaires.

On peut remarquer, en prenant l'exemple du gaz à Paris, que, si le prix du coke avait, jusqu'à ces derniers temps où il est devenu invendable (1), augmenté proportionnellement un peu plus que celui de la houille qui avait décuplé, le prix du gaz n'a pas été triplé, et la valeur de tous les sous-produits récupérables n'avait pas octuplé, ce qui a amené des ingénieurs anglais à émettre cette boutade paradoxale que la récupération des sous-

(1) Le coke qui était, avec le bois, le seul combustible dont la vente n'était pas régentée par l'Administration, a dépassé le cours de 500 f la tonne; actuellement, on ne trouve pas d'acheteur même à beaucoup moins de 100 f.

produits est moins intéressante avec du charbon cher qu'avec du charbon bon marché.

Les deux industries sœurs du gaz et du coke se sont déjà fait et pourront encore se faire des emprunts profitables pour le travail des sous-produits, de même qu'elles se sont rapprochées par la manière de carboniser la houille en grandes masses et qu'elles sont arrivées à s'entendre pour les distributions des excédents de gaz de fours à coke. Il y a, actuellement à l'étude, de très importants projets de distribution de gaz de cokeries dans la région du Nord de la France. Nous sommes heureux de voir prendre corps des conceptions que nous défendons depuis 15 ans et d'avoir pu apporter notre contribution technique aux questions de transport de gaz à grande distance que nous avons étudiées et suivies dès qu'on en a parlé en Europe.

Pour permettre l'emploi étendu du gaz de fours à coke et du gaz à l'eau, il est indispensable que les anciens traités de concession soient revisés dans celles de leurs clauses qui fixaient étroitement la qualité du gaz. C'est, par ailleurs, une nécessité de les reviser, dans celles de leurs clauses qui fixent le prix de vente du gaz, pour résoudre la crise que traversent les services publics concédés. L'industrie gazière, dont M. Rouland précisait l'importance en signalant qu'elle représente un capital placé de 1.700 millions de francs et qu'elle dessert 1.504 villes ou communes comptant 16.500.000 âmes, a été particulièrement touchée. Tant à cause de la destruction systématique des nombreuses usines dans le Nord et l'Est, qu'à cause de l'augmentation excessive du prix de la main-d'œuvre, et surtout du charbon qui est sa matière première essentielle, sans compter les difficultés d'approvisionnement en charbon et matériel divers, les compagnies gazières ont subi des pertes considérables qui les auraient conduites à la faillite. Heureusement pour elles, la jurisprudence établie par le Conseil d'État a consacré les principes suivants : Permanence du contrat de concession; Continuation du service public par le concessionnaire mais dans des conditions d'exécution adaptées aux circonstances extracontractuelles; Droit du concessionnaire à une indemnité du concédant; Détermination de cette indemnité en laissant à la charge du concessionnaire les dépenses supplémentaires d'achat du charbon, de main-d'œuvre et autres ressortissant au fonctionnement du service public, jusqu'à la limite extrême compatible avec l'exécution loyale et normale du contrat, le pouvoir concédant devant payer au concessionnaire l'excédent de toutes ces dépenses au delà de la limite ci-dessus ou lui fournir le moyen de le récupérer par la majoration temporaire des prestations, objet du contrat (1).

Évidemment, l'apurement et la liquidation des comptes d'attente prendra

(1) Voir *La crise économique et les services publics concédés*, par Maitre de la Taste, 1920.

un certain temps et ne se fera pas sans difficultés. On sait l'impécuniosité de certaines communes. On sait que plusieurs, et des plus considérables, n'ont pas osé ou cru devoir augmenter le prix contractuel de vente du gaz de manière à faire supporter les augmentations de frais de fabrication et distribution par les usagers. Dans ce cas, le « préjudice » imputable aux communes, se montant parfois dans nos plus grandes villes à plusieurs dizaines de millions, devra être supporté par l'ensemble des contribuables qui n'auraient dû supporter, en équité, que le déficit concernant l'éclairage public.

Par la force des choses, le gouvernement a été amené à faire établir, par une Commission interministérielle dont les travaux sont presque terminés, un *contrat-type* pour le gaz, comparable à celui qui a été créé il y a plusieurs années pour l'énergie électrique. Ce contrat-type s'appliquera aux nouvelles concessions et aux renouvellements de concession; il pourra guider les parties dans la revision amiable des anciens traités en cours (1).

On a été aussi conduit à étudier des échelles variables du prix du gaz et de l'électricité, en fonction du cours du charbon, du coût de la main-d'œuvre, etc., qui laissent une rémunération normale et légitime au capital placé. Il faut bien le dire, jamais les véritables prix de revient n'ont été connus même par les principaux intéressés, comme à l'heure actuelle.

Pour l'électricité, on a, en général, adopté la formule Brylinski.

$$P = p + k(H - h) - k'n$$

où P	représente	le prix	nouveau du kilowatt-heure,
— p	—	—	contractuel —
— k et k'	représentent	—	des coefficients,
— H	représente	—	actuel du charbon rendu en usine,
— h	—	—	ancien — —
— n	—	—	le pourcentage d'augmentation des salaires par rapport au 1er trimestre 1918.

L'évaluation de l'index économique (d'après des coefficients calculés et un certain prix de base de la houille) ont quelquefois conduit à la fixation d'un prix du kilowatt-heure, peu praticable dans les circonstances actuelles. L'intérêt bien compris du concessionnaire, dont la préoccupation essentielle doit être de développer rapidement la vente de courant dès les premières années d'une concession assez longue, peut être de sacrifier, s'il a les moyens d'attendre, le rendement de début de son exploitation, quitte à récupérer ultérieurement ce manque à gagner.

Pour le prix de vente du gaz, on a adopté, en général, dans ces derniers temps, la formule Laurain :

$$P = p + k''(H - h) - k'''(C - c) + k''''(S - s)$$

(1) Depuis que cette conférence a été faite, le cahier des charges-type a été publié par le Ministère de l'Intérieur.

où les mêmes lettres représentent les mêmes grandeurs que ci-dessus (P et p s'appliquant au mètre cube de gaz au lieu du kilowatt-heure où k'', k''', k'''' représentent des coefficients.

C représente le prix actuel de vente du coke et autres sous-produits,
c — — ancien — — —
S — le coût moyen actuel de l'heure de travail effectif du personnel ouvrier et employé,
s — le coût ancien de l'heure de travail effectif du personnel ouvrier et employé.

Dans le calcul des coefficients, on fait entrer les dépenses d'entretien et, à l'opposé, les recettes contractuelles accessoires. Pour l'établissement du compte d'attente, les chiffres ne sont pas tout à fait les mêmes que pour le régime définitif; c'est ainsi que pour h on prend, dans le premier cas, le prix maximum du charbon qui a pu être envisagé lors de la signature de l'ancien traité.

Quoi qu'il en soit, il faut bien se convaincre qu'on ne reverra plus les anciens prix de 0,15 à 0,25 f le mètre cube de gaz. Le coefficient k'''' relatif aux salaires, varie, suivant l'importance et la situation des usines, de 8 à 20 centimes par franc de hausse du salaire horaire moyen. Même, quand les salaires se seront tassés autant qu'on peut raisonnablement l'espérer, le prix du gaz se trouvera augmenté d'au moins 0,10 à 0,30 f, en admettant que la houille et le coke reviennent, ce qui paraît tout à fait improbable, aux cours d'avant-guerre. Si, avec 1 f, on ne pourra plus payer, par exemple, que 20 kg de houille au lieu de 40, qu'un tiers ou une demi-heure de travail au lieu d'une heure et demie ou de deux heures, il est bien évident qu'on ne pourra plus payer, avec ce même franc, 4 ou 5 m³ de gaz.

Une des clauses les plus sujettes à discussion du cahier des charges-type, est celle de la participation des communes dans les bénéfices des concessionnaires. Certains font valoir que, sauf dans le cas d'une régie intéressée, les communes ne risquent pas de capitaux dans l'affaire, qu'il n'est pas équitable de prélever sur les usagers du gaz des ressources budgétaires, d'autant plus que les villes bénéficient déjà d'un prix plus réduit que les particuliers et que le service public d'éclairage, par exemple, doit être payé par l'ensemble des contribuables. Les autres font remarquer que les communes ont bien droit à une rémunération pour la location du sous-sol où sont posées les canalisations et, qu'au surplus, elles concèdent un service public qui est leur chose. A la condition qu'on abaisse le prix de vente au fur et à mesure de l'abaissement du prix de revient, nous ne croyons pas qu'on puisse critiquer le partage des surbénéfices entre les concédants et les concessionnaires qui se trouvent ainsi intéressés solidairement au bon rendement de l'exploitation de la concession.

En tout cas, l'intérêt et le devoir des gaziers est de chercher à abaisser, par tous les moyens, le prix de revient du gaz de manière à rendre possible au plus grand nombre la consommation de cet élément indispensable de la vie urbaine moderne.

Quitte à exprimer à nouveau des idées que nous défendons depuis des années, nous terminerons en souhaitant, dans l'intérêt national :

Que, tout en sauvegardant les intérêts pécuniaires de leurs mandants, les municipalités se pénètrent des principes suivants : le prix de vente du gaz doit fatalement augmenter avec la diminution de la puissance d'achat de l'argent ; les exploitations gazières doivent pouvoir vivre, entretenir et améliorer leurs installations, si l'on veut voir les services publics de distribution de gaz convenablement assurés ;

Que des centrales gazières se substituent aux petites usines à gaz qui peuvent être groupées ;

Que la fabrication du gaz à l'eau soit développée pour réduire nos importations de houille à gaz, étant entendu que les nouveaux contrats autoriseront des teneurs en oxyde de carbone de 15 p. 100 au moins ;

Que l'on développe les installations de fours à coke à récupération de manière à éviter les importations de coke métallurgique et à augmenter les disponibilités de gaz de cokerie ;

Que les cokiers et gaziers s'entendent afin de distribuer à grande distance le plus possible de gaz de cokeries aux industries et populations des régions où se fabrique le coke métallurgique, étant entendu que les nouveaux contrats de concession fixeront un pouvoir calorifique qui n'élimine pas le gaz de fours à coke débenzolé ;

Que les constructeurs d'appareils de chauffage culinaire et domestique améliorent les rendements de ces appareils, inférieurs en général à ceux des appareils électriques, car l'avenir du gaz est dans le développement de cette branche de consommation ;

Que, pour résoudre tout au moins partiellement cette crise des carburants dont la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale se préoccupe à juste titre, le Parlement et les Pouvoirs Publics imposent enfin le débenzolage du gaz à tous ceux qui distillent plus de 10.000 t de houille par an (1).

Notre dernier mot sera pour affirmer encore notre foi dans la vitalité de l'industrie gazière que ses dirigeants devront pousser vigoureusement dans la voie du véritable progrès technique.

A. Grebel,
Ingénieur Conseil.

(1) Depuis que cette conférence a été faite, une loi permettant le débenzolage a été votée par la Chambre des députés. Le Sénat reverra sans doute les chiffres fixant un pouvoir calorifique du gaz trop élevé dans l'intérêt général qu'on a substitué, en séance, aux chiffres de la Commission et du Gouvernement.

NOTE DU COMITÉ DE COMMERCE

2e Congrès national de la Natalité

(Rouen 23-26 septembre 1920) (1)

PAR

M. Georges Risler
membre du Conseil.

La Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale m'avait fait l'honneur de me déléguer au deuxième Congrès de la Natalité qui s'est tenu à Rouen du 23 au 26 septembre 1920; je lui dois un compte rendu des travaux qui y ont été accomplis.

Présidé par l'éminent président du Comité permanent de la Natalité, M. Auguste Isaac qui, malgré les circonstances adverses, a tenu à lui consacrer tout le temps dont il a pu disposer dans cette période d'élection présidentielle, le Congrès de Rouen s'est déroulé suivant les lignes qui avaient été tracées à Nancy.

Ces règles n'avaient pas été établies sans de sérieuses délibérations; tant qu'on n'en aura pas trouvé de meilleures, il y a grand intérêt à en imposer le maintien.

L'honorable ministre du Commerce, M. Auguste Isaac, dans un discours de tout premier ordre, aussi bien comme fond que comme forme, a immédiatement visé le point essentiel, la propagande, nous invitant à en développer l'intensité et à redoubler d'efforts pour arriver à mettre « l'enfant à la mode », par les moyens les plus rationnels et les plus frappants, en cherchant à n'en négliger aucun.

Il a rappelé que « L'Œuvre du Congrès de Nancy n'a pas été vaine. Il a « contribué dans une très large mesure au mouvement d'opinion qui a mis en « relief toutes les questions relatives au relèvement de la population. Tout le « monde a compris que l'on se trouvait en présence d'un très grave danger qu'il « n'était plus permis de traiter à la légère, d'un problème dont la solution serait « la vie ou la mort de la France. »

« Pour tout dire, en un mot, les enfants sont un peu revenus à la mode. « Puissions-nous n'avoir point affaire à un attendrissement passager comme « celui qui s'empara des âmes sensibles à la fin du XVIIIe siècle. Comme il ne se « passe rien dans le monde qui n'ait sa contre-partie, la guerre inhumaine et « sauvage a développé dans bien des cœurs un besoin de tendresse qui a fortifié les « tendances mêmes de la nature.

(1) Voir dans le *Bulletin* de mai-juin 1920, pages 366 à 370, le compte rendu du premier Congrès de la Natalité, tenu à Nancy en septembre 1919. Le troisième Congrès se tiendra à Bordeaux du 22 au 26 septembre 1921.

« **Nuptialité et Natalité.** — Les statistiques publiées récemment et qui relèvent « les différences effroyables entre les décès et les naissances pour les 77 départe- « ments restés intacts, montrent en même temps le nombre considérable des « mariages au cours de l'année 1919 : 458.364 contre 177.822 en 1918. Le nombre « des naissances n'a pas dépassé 413.379 mais il ne faut pas se hâter de conclure « que 44.985 de ces unions sont demeurées stériles puisqu'un certain nombre a été « contracté dans le second semestre. Par ailleurs, ce n'est pas avant quatre ou cinq « ans que l'on peut juger de la fécondité de ces unions. Il y a presque toujours un « premier enfant; il y en a très souvent un second, mais ce qui est inquiétant « c'est l'insuffisance des troisième, quatrième et au delà.

« Comme on l'a dit très justement au Congrès de Nancy, ce sont surtout des « quatrièmes qu'il faudra à la France, et au delà. Le ménage de deux enfants « n'ajoute rien au chiffre de la population puisqu'il ne fait que remplacer le père « et la mère; celui de trois enfants ne fait qu'assurer le remplacement des décès « inévitables et des manquants dus à l'abstention des célibataires ou de la stéri- « lité involontaire; celui de quatre enfants devient le créancier de la Nation parce « qu'il travaille au relèvement de la population. Ne perdons jamais de vue le point « de comparaison avec l'Allemagne qui avait, en 1871, à peu près la même popu- « lation que nous pour un territoire sensiblement le même et qui a, maintenant « 70 millions d'habitants, c'est-à-dire une supériorité de trois quarts.

« France et Allemagne. — Voilà la différence qu'il s'agit de combler et en « admettant que la population de l'Allemagne reste stationnaire, il faudrait que « nos ménages français aient désormais près de deux fois plus d'enfants qu'ils « n'en ont eus pendant la période qui a séparé les deux guerres, pour que l'écart « disparût; en d'autres termes, là où il n'y avait qu'un enfant, il en faudrait deux; « là où il y en avait deux, il en faudrait quatre. Sommes-nous en droit d'espérer « ces résultats?

« En laissant de côté les chiffres postérieurs à 1914, on est obligé de constater « que de 1901 à 1914, le nombre annuel des naissances marque une diminution de « plus de 10 p. 100. Dans les 77 départements dont nous avons les statistiques « pendant l'année 1919, 635.694 décès n'ont été remplacés que par 413.379 nais- « sances, et un seul département, celui du Finistère a donné un excédent de « naissances : le déficit général est de 34 p. 100. La Seine-Inférieure a enregistré « 19.164 décès pour 15.892 naissances : déficit 17 p. 100. Dans le département de « l'Yonne, 2.955 naissances, pour 6.536 décès; déficit 55 p. 100. Dans le Gers, « 4.503 décès, pour 1.675 naissances; déficit 65 p. 100. »

En entendant ces statistiques, présentées avec tant d'autorité, chacun a compris pourquoi, parmi plusieurs villes qui s'étaient offertes, le Comité permanent de la Natalité avait choisi la capitale de cette Normandie dont la population, autrefois si nombreuse et si belle, est aujourd'hui déficitaire et rongée par l'alcoolisme.

Que sont devenus l'esprit d'entreprise des Robert Guiscard, des Jean Ango, des Jacques Cartier?

La soif de bien-être, l'égoïsme, l'affaiblissement du sentiment du devoir et des nobles aspirations de l'âme, le matérialisme, ont généralisé la restriction volontaire.

C'es tout un courant à remonter et M. le Président Isaac ne se dissimule pas les difficultés de la tâche.

« La peur de l'enfant, n'en doutons pas, a-t-il ajouté, sera longtemps l'angoisse « des ménages qui n'ont pas encore pris leur parti de cette constatation austère, « que la vie n'est pas essentiellement un plaisir. Dans les sociétés primitives, « l'enfant est une conséquence inévitable qu'il faut accepter sans réfléchir; mais « dans nos sociétés civilisées à haute tension, on réfléchit beaucoup et on raisonne « avec l'inévitable. *Seules, l'insouciance et la vertu se rencontrent pour l'accepter.* « La première a ses inconvénients, la seconde seule a la solution parfaite; mais elle « est rare, elle trouve peu d'encouragements, l'atmosphère du monde moderne lui « est fatale. Notre devoir est de lui rendre l'existence moins difficile, d'adapter « notre législation, nos usages, nos mœurs à la pratique de la famille nombreuse.

« Cependant, après le Congrès de Nancy, les énergies se réveillent, les amis « des familles nombreuses redoublent d'efforts; les voici qui profitent de la période « électorale, et entrent dans la lice.

« La période électorale, qui s'est ouverte un mois après la réunion de Nancy, a « montré les effets de notre propagande. Dans tous les programmes électoraux, « nous avons retrouvé la plupart des articles du nôtre. Il n'est pas un candidat « qui ait manqué d'assurer les électeurs de sa sollicitude pour les familles nom- « breuses, et les élus entrés au Parlement n'ont pas tardé à donner des preuves de « leur sincérité en votant avec enthousiasme les premières mesures proposées en « leur faveur; cartes de circulation et tickets de pain à prix réduit pour les familles « nombreuses, dégrèvements sur les nouveaux impôts, majorations pesant sur les « célibataires, création d'un Ministère de l'Hygiène et de la Prévoyance sociale et « d'un Conseil supérieur de la Natalité. »

« Un des points qui restent toujours débattus est la démarcation entre les « bénéficiaires. Un très grand nombre de parlementaires voudraient réserver les « avantages de l'aide familiale aux familles dans le besoin. De notre côté, nous « avons toujours considéré que, quelle que soit la situation de fortune des parents, « ces avantages devaient leur être accordés, non seulement pour les rémunérer des « dépenses que ne font pas les autres, mais comme une marque de reconnaissance « publique pour les services rendus au pays. En un mot, nous associons l'idée de « récompense morale et d'honneur à celle de compensation de frais d'éducation. »

Ici, le Ministre revient avec une insistance qui n'est que trop justifiée sur ce point : « qu'avant tout il faut honorer la famille nombreuse ».

L'insuccès est certain si l'on ne parvient pas à éloigner absolument tout ce qui a le moindre relent d'assistance, le caractère d'aumône.

Et il parle de ces « Caisses de Compensation » sur l'organisation desquelles nous reviendrons plus loin. Après avoir évoqué devant les congressistes la grandeur de leur tâche, il termine en ces termes :

« On rencontre souvent cette objection que le travail auquel nous nous livrons « ne doit profiter qu'à une partie de la population, je veux dire aux familles nom- « breuses, et que toutes les autres peuvent s'en désintéresser. Cette conception est « tout à fait erronée : l'insuffisance de la population a des conséquences dont « personne n'est exempt. La vie chère, pour ne parler que de cette question « angoissante, en est une preuve, car si la mise en œuvre de toutes les réserves « nationales trouvait un plus grand nombre de mains pour y travailler, l'abon- « dance des ressources produirait incontestablement une diminution du coût de la « vie. De même, il faut le répéter encore, les charges fiscales dont nous sommes

« accablés seraient deux fois moins lourdes, et enfin, si la défense de nos foyers « doit exiger encore que nous prenions les armes, l'effort et les sacrifices seront « d'autant moins grands et seront d'autant plus vite assurés du succès que nous « serons plus nombreux pour y prendre part. Ce sont là des truismes que l'on « s'excuse de répéter, mais le nombre de gens qui ne veulent pas les accepter est « si grand qu'on est obligé d'y revenir sans cesse, et c'est précisément notre tâche « dans des congrès comme celui-ci de faire la lumière et d'obliger nos concitoyens « à ne pas plus longtemps se boucher les yeux. »

Nous aurions voulu reproduire en entier le discours de M. Isaac; notre place ici étant limitée, nous avons dû nous borner à regret, à en donner seulement de larges extraits. Chiffres, faits, raisonnements qui en découlent, lui conféraient le caractère de la véritable éloquence, celle qui consiste à bien exprimer, en toute sincérité, les idées justes et utiles. Lorsqu'elle est en outre appuyée sur une vie qui n'a été que la mise en action des principes proclamés, elle porte en elle une puissance de conviction qui impressionne profondément les auditeurs.

Tel fut absolument le cas.

Nous voudrions aussi pouvoir citer, *in extenso*, le discours de M. J.-L. Breton, alors ministre de l'Hygiène, l'apôtre passionné de la lutte contre la diminution de la natalité qui, avec M. le Président Millerand a, pour la première fois, en France en créant l'organe indispensable qu'est le ministère de l'Hygiène, associé le Gouvernement au combat qui s'imposait contre le plus grave des fléaux sociaux dont est menacée notre patrie.

Avec la plus grande et la plus constante énergie, notre cher et regretté Ministre s'est appliqué à donner à cette lutte un caractère pratique et à la rendre effective.

Combien de vies humaines ont été préservées pendant son court ministère grâce à l'aide cordiale qu'il a apportée à tant d'œuvres d'initiative privée dont il a décuplé les moyens d'action, tandis que, jusqu'à lui, elles n'avaient jamais reçu le moindre encouragement!

Tous les bons Français lui doivent une profonde reconnaissance et les acclamations dont il a été l'objet lui ont apporté une preuve certaine et touchante qu'il n'avait pas prodigué son dévouement en vain.

*
* *

Le Congrès fut divisé en 6 sections : celle de l'Enseignement et Éducation, celle de l'Action religieuse, celle de la Propagande, celle du Logement ouvrier, celle de l'Action des Pouvoirs publics et de l'Action professionnelle. Elles ont été présidées par M. Doliveux, le Cardinal Dubois et M. Gustave Roy, M. Georges Risler, le Docteur Cerné, le Docteur Jacques Bertillon et M. Pascalis.

M. Henri Lafosse, industriel et membre de la Chambre de Commerce de Rouen, avait accepté la lourde charge de la présidence du Comité d'organisation et nous ne saurions lui exprimer assez vivement la gratitude de tous les congressistes pour la manière exceptionnellement parfaite dont il a accompli sa tâche.

Il a trouvé le concours le plus dévoué auprès de M. Lallemand, préfet de la Seine-Inférieure, le plus admirable apôtre de toutes les œuvres sociales qui ait jamais existé dans l'administration.

En trois ans, il a créé dans son département l'armement social le plus complet, et cela d'une manière aussi pratique et aussi économique que possible. Dans cette lutte pour les petits et les faibles, il n'apporte pas seulement sa puissance de travail exceptionnelle et sa magnifique intelligence, mais aussi son cœur infiniment bon et généreux.

La première commission avait devant elle une tâche considérable. Depuis bien des années toute la vie en France (l'éducation et l'enseignement comme le reste) est orientée vers la famille réduite. Il s'agit de remonter le courant et de faire aimer, admirer et honorer la famille nombreuse. Ce n'est pas autrement impossible, comme on l'a prouvé à la Commission de Propagande, mais il faut avant tout le vouloir.

Une part prépondérante de l'action à exercer pour arriver à ce résultat incombe aux divers clergés. Par quels moyens y parviendront-ils? C'est ce qu'avaient à examiner les deux sections (catholique et protestante) de la deuxième commission. N'est-ce pas, avant tout, d'une œuvre morale qu'il s'agit? La stérilité du corps n'est-elle pas, bien souvent, une conséquence de celle de la conscience et de l'esprit?

C'est ce qui a été admis dans l'une et l'autre section.

On y a souvent discuté en commun et l'on est arrivé à un grand nombre de solutions unanimement acceptées. Comment pourrait-il en être autrement alors qu'il n'y a qu'une « morale »?

La Commission de Propagandé, aux travaux de laquelle MM. l'abbé Viollet et Bordron et le R.-P. Raymond, MM. Paul Coquemard, Leitz, W. Jacques, Victor Pain, J. Wilbois, P. Seguy, Glorieux, Paugez, Vieuille, Lépreau, W. Clamageran, Mlle Poivre, etc., prirent une part très active, étudia, au cours de plusieurs longues séances, cette question primordiale de la propagande.

Elle adopta les conclusions d'un très remarquable rapport de M. Hip. Leitz concluant à la formation d'associations protectrices conçues d'après les principes de la Confédération générale des Familles, où les jeunes doivent trouver, dès le berceau pour les suivre ensuite pendant les diverses phases de leur vie, l'appui de leurs aînés. C'est l'aide fraternelle dont on profite d'abord et qu'on apporte ensuite à ceux qui nous succèdent; c'est la mise en pratique de l'admirable morale évangélique.

La Section accueillit avec une grande bienveillance un long rapport de M. Georges Risler, posant les bases de la propagande en faveur de l'augmentation de la natalité, puis, présentant ensuite le plan complet de toute une organisation rationnelle et pratique.

Un simple résumé de ce travail considérable serait trop long pour pouvoir trouver place ici. A l'unanimité, un vœu a été émis pour que ces rapports et les conclusions pratiques auxquels ils aboutissent soient largement diffusés et que l'application des idées nouvelles émises par l'auteur soit énergiquement poursuivie.

Les conclusions d'un rapport fort intéressant de M. Seguy sur certains côtés pratiques de la propagande ainsi que celles d'un très remarquable rapport de Mlle Poivre sur la propagande dans les milieux féminins, furent également adoptées.

La Commission de l'Hygiène et de la Puériculture s'est surtout consacrée à l'étude de la grave question du logement. Un très remarquable discours de M. Henri Lafosse révéla la situation navrante du logement ouvrier, non seulement à Rouen, mais dans presque toute la région. Les milieux industriels ont montré

l'importance primordiale qu'ils attachaient à cette question, et leur volonté d'arriver à la solutionner en demandant à M. Georges Risler, après les longs débats qui avaient eu lieu au sein de la Section, de venir faire à la Société industrielle, une conférence qui a eu lieu le 18 décembre sous la présidence même de M. Henri Lafosse. Celui-ci a été l'un des premiers et des meilleurs artisans de l'amélioration du logement ouvrier dans la Seine-Inférieure.

Une grande société d'habitations à bon marché, au capital de 700.000 f, a été fondée à Rouen et va entreprendre d'importantes constructions dans les environs de la ville.

La Commission de l'Action législative a recherché les moyens d'arriver à une péréquation des charges entre les égoïstes et les malheureux ménages involontairement stériles, et les familles nombreuses. Elle a examiné, sans arriver à des conclusions nettes, les projets de MM. J.-L. Breton, Georges Risler, Corréard, Delachenal, etc.

Enfin, la Commission de l'Action professionnelle s'est occupée de l'importante question des caisses de compensation que beaucoup (à tort suivant nous), préfèrent appeler « sursalaire familial ».

Un grand et bienfaisant mouvement s'est développé en ce sens au cours de ces dernières années.

Il a pris naissance dans le Dauphiné, a gagné l'Alsace, le Nord, puis Paris, la Normandie, etc.

Dans ce *Bulletin* même(1), notre collègue, M. Pierre Richemond a exposé l'organisation de la Caisse de compensation du Département de la Seine créée par des patrons qui occupent 200.000 ouvriers recevant annuellement des salaires qui s'élèvent à 1.200 millions de francs, sur lesquels les industriels s'imposent une taxe de 2,50 à 2,75 p. 100, afin d'assurer un supplément de traitement aux mères de famille attachées à leurs établissements.

Nous croyons devoir aussi indiquer ici ce qui a été fait par nos confrères de Roubaix et de Tourcoing.

Le Consortium de l'Industrie textile de ces deux grandes villes industrielles vient de prendre une mesure qui ne peut manquer d'avoir un retentissement considérable et une portée décisive. Les grands chefs qui sont à la tête d'une des régions les plus importantes de l'industrie française, et qui, par une sorte de vocation héréditaire, se sont toujours distingués par la hardiesse de leurs initiatives et l'ampleur de leurs desseins, ont apporté à la solution du problème de la repopulation la même énergie qui leur a valu tant de succès dans leurs entreprises commerciales.

Ayant reconnu que les petits subsides accordés par ailleurs à l'ouvrier chargé de famille, s'ils constituaient pour celui-ci un encouragement ou une récompense, ne représentaient pas la véritable péréquation des charges que comporte la justice, ni une égalisation de son gain aux véritables besoins de sa famille, ils ont voulu réaliser dans le domaine de leur profession un acte d'équité, qui est aussi une œuvre de fraternité humaine et une mesure de haute prévoyance sociale. Le renchérissement de la vie, dû en grande partie à l'excessive puissance d'achat de l'homme exempt des charges familiales, représente actuellement un accroissement de plus de 300 p. 100 par rapport à l'état de choses antérieur à la guerre. Par suite, esti-

(1) Voir le *Bulletin* de mai-avril 1920, p. 236 à 240.

mant que des allocations de 50 c ou de 1 f ne pouvaient plus être en harmonie avec le coût actuel de la vie, les membres du Consortium ont porté à 3 f par jour et par enfant le taux du salaire supplémentaire.

Comme le nombre des enfants de moins de treize ans des ouvriers attachés aux 312 établissements adhérents au Consortium, est de 21.000 environ, c'est une somme quotidienne supérieure à 60.000 f qui est répartie entre les familles de travailleurs de la région de Roubaix-Tourcoing.

Des mesures semblables comportant des chiffres différents ont été adoptées dans les régions que nous avons mentionnées plus haut.

Ajoutons que nos confrères de Mulhouse ont fondé une Caisse de Compensation centrale qui comprend toutes les organisations du Haut-Rhin.

La longueur même de cet article, encore très incomplet, indique l'importance du deuxième Congrès de la Natalité dont les travaux ont été résumés dans un éloquent discours prononcé par le rapporteur général à la grande réunion de clôture tenue au Cirque Beauvoisine, sous la présidence de MM. les Ministres Isaac et Breton. Ils procédèrent à une distribution de médailles de la Famille française, et cette cérémonie, où la femme du peuple mère de nombreux enfants, reçoit à côté de la marquise ou de la bourgeoise, le témoignage respectueux de la reconnaissance nationale, fut, comme partout où elle a lieu, profondément utile, belle et émouvante.

Bordeaux a été choisi comme siège du troisième Congrès qui se tiendra le 22 septembre prochain. Fidèle à son programme, le Comité permanent fait choix des régions où son action peut être particulièrement utile celles qui, merveilleusement dotées par la Providence, méprisent ces biens si précieux et les laissent inutilisés faute de bras pour les mettre en valeur.

Puissions-nous voir par les prochaines statistiques que les efforts de tous les bons citoyens qui comprennent l'importance primordiale du relèvement de la natalité française commencent à être récompensés.

GEORGES RISLER,
membre du Conseil.

NOTE DU COMITÉ DE COMMERCE

La situation des industriels et des commerçants français dans la Rhénanie et dans la Sarre.

Des industriels et des commerçants français installés dans les provinces rhénanes ont jeté un cri d'alarme dont l'écho est parvenu à la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale. Le Comité de Commerce a bien voulu me confier le soin de rechercher ce qu'il pouvait y avoir de fondé dans les plaintes de nos compatriotes et ce sont les résultats de mes investigations que je lui apporte aujourd'hui.

Le commerce français en Rhénanie pendant la période de l'armistice. — L'armistice du 11 novembre 1918 laissa subsister le blocus édicté contre l'Allemagne, sans établir de distinction entre les territoires où les armées alliées allaient entrer et ceux où elles ne pénétreraient pas. Il devint bientôt évident que si cette mesure de rigueur devait être maintenue pour empêcher le ravitaillement des troupes que l'ennemi pouvait encore nous opposer, elle n'avait plus de raison d'être vis-à-vis des populations rhénanes. Notre intérêt, au contraire, nous commandait de ménager ces populations, prêtes à se rapprocher des vainqueurs, d'éviter que la privation de denrées alimentaires et de certains produits nécessaires à la vie ne provoquât des soulèvements contre notre autorité et enfin de nous procurer à bon compte dans les régions occupées les objets dont nous avions besoin particulièrement pour la reconstitution de nos provinces dévastées.

Malheureusement l'opinion publique se montrait hostile à cette reprise des relations économiques avec les « Boches ».

Plus clairvoyants, nos alliés anglais et américains ne manquèrent pas de profiter de la situation et de traiter le plus d'affaires possible non seulement dans les Provinces rhénanes, mais aussi dans tout le reste de l'Allemagne. C'est ainsi que nous avons naïvement acheté par leur intermédiaire, à des prix fortement majorés, des produits allemands que nous nous imaginions être d'origine anglaise ou américaine.

Un décret du 15 janvier 1919 réserva cependant à la Délégation française à la Commission interalliée siégeant auprès du maréchal commandant en chef le droit d'accorder, par délégation du ministre des Affaires étrangères, des dérogations à l'application du décret du 27 octobre 1914 relatif à l'interdiction de commerce avec l'Allemagne, et l'autorité militaire encouragea l'établissement de commerçants et d'industriels français dans les Provinces rhénanes.

Les premiers qui vinrent étaient, il faut l'avouer, fort peu recommandables : c'étaient des contrebandiers et des mercantis. Ils eurent peut-être le mérite de frayer la route à leurs compatriotes, mais ils faillirent compromettre auprès des Rhénans le bon renom du commerce français. Leurs louches opérations furent d'ailleurs des plus fructueuses. En peu de temps ils firent fortune.

Des commerçants, attirés par leur exemple, s'installèrent ensuite dans les territoires occupés.

Malgré la rafle faite par les Anglais et les Américains qui les avaient devancés et qui avaient été jusqu'à se réserver la totalité de la fabrication de certaines maisons pour une et même pour plusieurs années, ils trouvèrent encore à acheter en quantités importantes des machines-outils, de la verrerie, des meubles, des produits chimiques, et réussirent à vendre de la graisse, de l'huile, du savon, du vin et de l'alcool.

Les choses se présentaient alors de la façon la plus favorable.

Les Rhénans, comme tous les Allemands, étaient très préoccupés d'assurer leur ravitaillement et de travailler à leur relèvement économique par le développement de leur production et la multiplication des échanges. Ils supportaient, sans témoigner d'hostilité, la présence de nos troupes, car ils voyaient en elles une protection contre tout désordre et contre toute menace de bolchevisme. Ils s'étaient même attendus en novembre 1918 à être séparés du reste de l'Allemagne et c'est bien la solution qu'on aurait pu et dû leur imposer. Ils y étaient résignés d'avance. Si les industriels la redoutaient comme devant bouleverser leurs groupements, les catholiques et les gens d'affaires s'y seraient pliés sans difficulté. Les catholiques, qui jouissent d'une grande influence dans la contrée, ont, en effet, gardé un amer souvenir du Kulturkampf. Quant aux gens d'affaires et spécialement aux banquiers, ils étaient effrayés des charges financières qui allaient peser sur l'Allemagne et ils craignaient que les Provinces rhénanes, les plus riches de l'Empire, ne payassent pour les provinces pauvres. L'espoir d'une exonération les poussait vers les Alliés.

Le retour à l'état de paix allait gâter cette situation.

A ce moment-là, c'est-à-dire au début de l'année 1920, près de 500 maisons de commerce françaises, représentant un capital global approximatif de 400 à 500 millions de francs, étaient établies en Rhénanie. Elles avaient fait l'année précédente un chiffre d'affaires à l'exportation de France de près de 2 milliards de francs et de 1 milliard à l'importation.

Mise en vigueur du Traité de paix. Pouvoirs de la Haute-Commission interalliée. — Le 12 janvier 1920, le Traité de Versailles entra en vigueur.

A titre de garantie d'exécution par l'Allemagne des clauses qu'il contient, son article 428 stipule que les territoires allemands situés à l'ouest du Rhin et les têtes de pont seront occupés par les troupes des Puissances alliées et associées pendant une période de quinze années.

L'article 432 ajoute que les questions concernant l'occupation et non réglées par le Traité lui-même seront l'objet d'arrangements ultérieurs que l'Allemagne s'oblige à observer.

Ces détails sont indispensables à connaître si l'on veut comprendre la situation qui est résultée pour nos commerçants de la mise en application du Traité de paix et les événements qui ont suivi.

L'arrangement prévu intervint, à la date du 28 juin 1919, entre les États-Unis, la Belgique, la Grande-Bretagne et la France, d'une part, et l'Allemagne, d'autre part. Il fut promulgué en même temps que le Traité de Paix par décret du 10 janvier 1920.

L'article 2 de cet arrangement a constitué un organisme civil, dénommé Haute-Commission interalliée des Territoires rhénans. Cette Haute-Commission, composée de quatre membres nommés par la Belgique, la France, la Grande-Bretagne et les

États-Unis, est le représentant suprême des Puissances alliées et associées dans les territoires occupés. Elle tient de l'article 3 de l'arrangement le pouvoir d'édicter des ordonnances ayant force de loi « dans la mesure qui sera nécessaire, pour assurer l'entretien, la sécurité et les besoins des forces militaires des Puissances alliées et associées ». Quant à l'administration civile, elle reste, de par l'article 5, entre les mains des autorités allemandes.

On voit combien sont limités les pouvoirs de la Haute-Commission. Elle ne peut intervenir plus au moins directement dans les questions d'ordre économique que dans les trois hypothèses suivantes.

1) Aux termes de l'article 7 de l'ordonnance relative au pouvoir législatif et réglementaire de la Haute-Commission, les lois d'Empire et d'Etat et les règlements généraux non encore appliqués dans l'ensemble des territoires occupés sont, préalablement à leur mise en application dans ces territoires, transmis, par les autorités compétentes, à la Haute-Commission, qui examine si lesdits textes ne contiennent aucune disposition de nature à préjudicier : à l'entretien des troupes d'occupation, à leur sécurité ou à leurs besoins. S'ils devaient avoir pour conséquence d'instaurer en territoire occupé le régime bolcheviste, la Haute-Commission aurait certainement le droit d'opposer son veto à leur application comme étant de nature à préjudicier à la sécurité des troupes alliées. Hors ce cas, elle ne peut que laisser appliquer les lois allemandes quand bien même elles auraient pour les intérêts de nos commerçants les plus fâcheuses répercussions.

2) La Haute-Commission peut encore intervenir dans les relations commerciales lorsque l'intérêt des troupes alliées est en cause.

C'est ainsi qu'elle a pu interdire « à tout commerçant, industriel, débitant et, en général, à toute personne vendant au public, de vendre aucune denrée, marchandise, objet, quelle qu'en soit la nature, à un prix supérieur à celui qui est normalement pratiqué à l'égard du public allemand (1) ».

3) Enfin, la Haute-Commission a décidé (2) qu'aucune poursuite judiciaire ne pourrait être engagée ou continuée et qu'aucune sanction ne pourrait être prise sans l'autorisation expresse ou implicite des autorités alliées, contre les personnes, maisons de commerce ou sociétés établies dans les territoires occupés en raison d'actes commerciaux, financiers ou bancaires qu'elles auraient pu accomplir pendant la durée de l'armistice.

Une mesure analogue a été prise en faveur des maisons ou sociétés de banques alliées qui n'auraient pas obtenu l'enregistrement, la licence ou l'autorisation exigé par les lois ou règlements allemands sous la double réserve que ces maisons ou sociétés aient effectué leurs opérations dans les territoires occupés pendant la période d'armistice et qu'elles aient introduit leur demande d'enregistrement dans les deux mois qui ont suivi la mise en vigueur du traité de paix.

Ainsi donc, les commerçants français établis en Rhénanie peuvent bénéficier indirectement de mesures prises en faveur des troupes d'occupation. D'autre part, ils sont protégés contre les conséquences qu'auraient pu entraîner certains de leurs actes autorisés par l'autorité militaire alliée pendant la période d'armistice bien qu'ils fussent contraires à la loi allemande. En dehors de ces hypothèses, leur situation est exactement celle qu'ils auraient en une région quelconque de l'Allemagne non occupée.

(1) Ordonnance relative à l'organisation judiciaire, art. 29.
(2) Ordonnance relative à l'organisation judiciaire, art. 31.

C'est pour ne l'avoir pas bien compris, c'est pour s'être trop facilement imaginés que la Rhénanie était comme un nouveau Maroc qu'ils étaient appelés à coloniser, que beaucoup d'entre eux ont éprouvé de si fortes désillusions, et, lorsqu'ils ont été en butte aux vexations que les autorités allemandes ne leur ont pas ménagées dans l'espoir de les contraindre à quitter le pays, ils ont cru que le Haut-Commissaire Français les abandonnait, alors qu'en réalité celui-ci ne pouvait intervenir que d'une manière tout à fait officieuse et en usant seulement de son influence personnelle.

Mesures prises par les autorités allemandes pour entraver le commerce français en Rhénanie. — Les tracasseries envers nos compatriotes ont commencé dès que, de par le Traité de Paix, les autorités allemandes ont eu recouvré leurs pouvoirs sur la rive gauche du Rhin.

Une série de décrets, à l'application desquels la Haute Commission n'avait aucun moyen de s'opposer, élevèrent toutes sortes d'obstacles aussi bien à l'importation de France dans les pays rhénans qu'à l'exportation de Rhénanie en France.

A part quelques produits alimentaires de première nécessité, tous les articles furent soumis à une licence d'importation, que l'acheteur devait solliciter de l'autorité compétente de Berlin. Toute marchandise entrant sans licence était saisie et vendue au profit de l'Empire, sans indemnité.

Obtenir une licence était chose difficile. L'administration allemande cherchait à favoriser l'introduction de matières premières ou de produits mi-fabriqués nécessitant un travail de finissage par l'industrie nationale allemande et à limiter l'importation de l'article tout fini, principalement de l'article de luxe.

La nécessité de demander pour chaque produit une licence particulière s'imposait également au vendeur qui désirait exporter. Les contrats devaient, en outre, être préalablement soumis à l'approbation de l'autorité allemande compétente, qui déterminait le prix minimum de vente. Ce prix était établi dans la monnaie du pays vers lequel on exportait : en francs pour la France, en livres sterling pour l'Angleterre, etc.

A l'obligation de se munir d'une licence, soit pour importer, soit pour exporter, venait naturellement s'ajouter celle de payer des droits.

A l'entrée, les tarifs de douane étaient majorés du coefficient 9. A la sortie, les produits étaient soumis à des taxes *ad valorem* variant de 2 à 10 p. 100 suivant leur nature, mais qui furent progressivement abaissées dans le but de favoriser les exportations et d'améliorer par ce moyen le cours du change.

Ces droits étaient payables en marks or et les Allemands prétendaient en exiger le payement en or rétroactivement à partir du 1er décembre 1919.

Ils menaçaient également de saisir et de vendre, au profit du Trésor allemand, tous les stocks français en magasin appartenant, soit à des négociants français, soit à des négociants rhénans, qui ne seraient pas liquidés avant le 30 juin 1920.

L'irritation que ces diverses mesures causèrent à nos compatriotes fut extrême.

Dans des réunions tenues à Mayence et à Wiesbaden au mois de mai 1920, ils demandèrent :

« 1° Que toutes les mesures arbitraires prises par le gouvernement de Berlin : dérogations d'importations et d'exportations, arrêts et saisies de marchandises françaises et belges, etc., soient immédiatement suspendues en pays occupés jus-

qu'à la mise en vigueur du traité de commerce franco-allemand en voie d'élaboration, pour les marchandises payées et légalement entrées et pour celles faisant l'objet de contrats en cours dûment établis ;

« 2° Qu'en cas d'annulation de contrats d'achats en Allemagne par suite d'augmentation de prix résultant d'ordres venus du gouvernement allemand, le montant des avances versées au vendeur soit remboursé sans aucun délai;

« 3° Qu'un délégué officiel du gouvernement allemand muni de pleins pouvoirs soit établi à Mayence pour résoudre rapidement de concert avec la Section Economique et l'Union des Commerçants et Industriels français des Pays rhénans, toutes les questions intéressant l'industrie et le commerce français et belge;

« 4° Que le délai de remboursement des droits de douane en or n'excède pas huit jours. »

En cas de refus du gouvernement allemand, ils réclamaient l'application de l'article 270 du Traité de paix qui permet d'accorder à la Rhénanie un régime douanier spécial.

Et, dans leur mécontentement, ils allaient jusqu'à accuser le Haut-Commissaire Français d'avoir manqué de clairvoyance et de fermeté. En réalité, il était désarmé. Il s'employa néanmoins de son mieux à apaiser ces conflits.

Organisation du commerce français en Rhénanie. — Une *Commission mixte d'Arbitrage*, composée de délégués français et allemands, reçut mission de trancher les litiges soulevés par l'application dans les territoires occupés de la réglementation allemande sur les importations, les exportations, les saisies et le remboursement des droits de douane en or. Cette commission a réussi à aplanir beaucoup des difficultés qui avaient surgi entre les commerçants français et les autorités allemandes.

Mais elle n'est pas compétente pour connaître des contestations entre particuliers français et allemands. C'est le service du contentieux de chacune des sections économiques, dont il sera question plus loin, qui s'efforce de les régler à l'amiable.

Comme ses tentatives ne sont pas toujours couronnées de succès, on avait envisagé la formation d'une *Chambre de Conciliation* dans laquelle auraient siégé en nombre égal des arbitres de nationalité française et de nationalité allemande. Les négociations engagées dans ce but entre les Chambres de Commerce française et allemande de Mayence se poursuivent sans paraître cependant pouvoir aboutir à un accord. Le débat porte sur le choix du sur-arbitre. Tandis que la Chambre de Commerce française propose de le désigner par voie de tirage au sort sur une liste comprenant en égal nombre des personnalités françaises et allemandes particulièrement aptes par leurs connaissances juridiques à remplir cette fonction, la Chambre de Commerce allemande émet la prétention que la Chambre de Conciliation soit toujours présidée par un Allemand. Ces deux points de vue semblent inconciliables.

L'action économique du Haut-Commissariat se manifeste aussi par les *Sections économiques*, dont la création remonte au début de l'occupation. Dépendantes de l'autorité militaire et du Comité Economique interallié de Luxembourg, elles étaient alors chargées d'assurer le contrôle des usines, de surveiller les stocks de matières premières et de produits manufacturés et de maintenir l'activité économique dans les territoires occupés. Puis elles se sont appliquées à favoriser la reprise des relations commerciales entre la France et les Pays rhénans.

Chacune d'elles comprend un service commercial et un service industriel con-

stitués en vue de procurer aux commerçants et aux industriels français tous les renseignements qui peuvent les intéresser et un service du contentieux qui leur fournit toutes les indications utiles sur la législation allemande.

Les sections économiques ont rendu et rendent encore de grands services. J'ai entendu cependant formuler le regret qu'elles fussent actuellement moins bien dirigées qu'au moment où l'armée disposait de techniciens de tout genre qui depuis ont été démobilisés et ont repris leur profession civile.

Les sections économiques, au nombre de huit, fonctionnent à Crefeld, Aix-la-Chapelle, Cologne, Bonn, Coblence, Mayence, Ludwigshafen et Trèves. Il en existe une neuvième à Luxembourg. Il y en avait également une à Sarrebrück; rattachée au gouvernement de la Sarre après la mise en vigueur du Traité de paix, elle fut dissoute peu après.

Toutes sont en relations, d'une part, avec la Direction du Service économique du Haut-Commissariat de la République Française, à Coblence, et, d'autre part, avec le Bureau de Renseignements commerciaux installé 3, rue François-I[er], à Paris. Le Bureau de Paris centralise les renseignements que lui envoient les différentes sections; il enregistre les offres et les demandes qui lui sont adressées, sert de trait d'union entre les maisons françaises et les maisons allemandes et fait les démarches nécessaires auprès des grandes administrations françaises telles que les divers ministères, les douanes et les compagnies de chemins de fer pour obtenir les améliorations désirables.

Ajoutons que le Haut-Commissariat de la République Française a créé, au mois d'avril 1920, une école de Commerce à Mayence, dont l'enseignement s'adresse en principe aux soldats de l'armée du Rhin, mais dont bénéficient également des jeunes gens civils établis dans les Pays rhénans.

A côté de ces organismes officiels, il existe des groupements d'industriels et de commerçants français.

La *Chambre de Commerce française dans les Provinces rhénanes*, dont le siège social est à Paris, 12, rue de La-Rochefoucauld, et les services à Mayence, 65, Rheinstrasse, a pour objet, aux termes de ses statuts, « de grouper, soutenir et développer les intérêts commerciaux et industriels français dans les Provinces du Rhin et notamment d'étudier et d'organiser des foires et expositions, des bourses de commerce franco-rhénanes, d'étudier l'organisation française la plus propre à favoriser notre expansion économique en Pays rhénan, les réglementations économiques allemandes et françaises dans leurs effets sur les intérêts commerciaux et industriels en Pays rhénans, de présenter ses vœux aux organismes officiels et aux Pouvoirs publics et, plus généralement, de soutenir tout effort ayant pour but le groupement et le développement des intérêts français de nature commerciale ou industrielle dans les Provinces du Rhin ».

Elle groupe autour d'elle des représentants de puissantes sociétés comme les Forges et Aciéries de la Marine et d'Homécourt, la Société générale de Crédit industriel et commercial, les Établissements Schneider, les Établissements de Saint-Gobain, la Banque Nationale de Crédit, les Aciéries de Longwy, les Hauts Fourneaux et Forges d'Allevard, les Établissements Poulenc frères, la Compagnie d'Assurances « L'Union », la maison Potin et C[ie], etc.

Quelques membres de cette Chambre de Commerce se sont détachés d'elle et ont constitué, avec le concours d'un certain nombre de Belges, la *Chambre de Commerce française de Cologne*, qui n'a pas à beaucoup près la même importance.

L'*Union des Commerçants et Industriels français des Pays rhénans*, dont le siège social est à Wiesbaden, 76, Kirchgasse, réunit 225 membres recrutés principalement parmi les petits commerçants. Les membres de cette Union ont eu plus particulièrement à se plaindre des agissements des autorités allemandes, parce que, d'une part, vendant au détail, ils sont en contact plus fréquent avec la clientèle et les autorités allemandes pour des actes de commerce journellement répétés et que, d'autre part, pour faire des affaires, ils hésitent moins à se mettre en contravention avec les lois allemandes, par exemple en important des marchandises de luxe qui sont celles que nous pouvons le plus avantageusement offrir aux Allemands.

On avait souhaité dans certains milieux une fusion plus ou moins complète entre cette Union et la Chambre de Commerce française dans les Provinces rhénanes; mais les intérêts des petits commerçants qui composent la première sont assez distincts des préoccupations des importantes sociétés et des grands industriels qui gravitent autour de la seconde pour justifier une organisation spéciale. D'ailleurs, l'union entre les deux groupements est suffisamment assurée par la présence dans leur conseil de membres communs.

Enfin, il existe une *Union de Commerçants français à Mayence*. Elle est formée de la section que l'Union des Commerçants et Industriels français des Pays rhénans avait dans cette ville et qui s'est déclarée indépendante.

Telle est actuellement l'organisation officielle et l'organisation privée du commerce et de l'industrie français en Pays rhénan.

Ressources économiques de la Rhénanie. Débouchés offerts aux produits français. — Quelles ressources pouvons-nous trouver en ce pays et quelles marchandises pouvons-nous offrir à ses habitants?

Les provinces rhénanes sont les plus riches de l'Allemagne. La guerre n'y a point fait sentir ses ravages : toutes les usines sont intactes et travaillent dans le calme assuré par les troupes alliées. Elles peuvent nous fournir des machines de toutes sortes, des machines-outils, des ponts-roulants, des appareils de levage, de la quincaillerie, des couteaux, des ciseaux, des outils, des meubles, des produits chimiques, du bois, du fer, du ciment, et des produits réfractaires dont nous avons besoin pour la reconstitution de nos régions dévastées.

De notre côté, nous pouvons exporter en Rhénanie : des denrées alimentaires, des vins fins, notamment des vins de Bordeaux qui sont particulièrement demandés, des alcools et des liqueurs de marque, des conserves, des fruits, des articles de Paris, des produits de luxe, de la parfumerie, des matières colorantes, de la bauxite, du liège, de la graisse, de l'huile, des savons, des produits coloniaux, des articles de mode, des vêtements confectionnés et surtout mi-confectionnés, du minerai et de la fonte à la condition d'obtenir du coke en échange. Il serait enfin bien désirable que nous puissions envoyer aux Rhénans des livres français. La question commerciale se double ici d'une question de propagande. Malheureusement, nos éditeurs ne paraissent pas en mesure de lutter avec les éditeurs allemands, ni même avec les éditeurs anglais et il est très difficile en Rhénanie de trouver des livres français, à moins qu'ils ne viennent de Leipzig. C'est extrêmement regrettable.

Quant à l'avenir réservé à notre commerce et à notre industrie dans cette région, comment le pronostiquer? Il sera ce que lui permettra de devenir notre politique extérieure.

Il dépend aussi de trois facteurs principaux que nous allons rapidement examiner : le régime douanier, les transports et le change.

Le régime douanier. — Depuis la mise en vigueur du traité de paix, les commerçants français établis en Rhénanie, en butte aux tracasseries de l'Administration allemande, demandaient l'application de l'article 270 du traité de paix ainsi conçu :

« Les Puissances alliées et associées, dans le cas où ces mesures leur paraîtraient nécessaires pour sauvegarder les intérêts économiques de la population des territoires allemands occupés par leurs troupes, se réservent d'appliquer à ces territoires un régime douanier spécial, tant en ce qui touche les importations que les exportations. »

Les Puissances alliées et associées ont longtemps hésité avant d'appliquer cet article. Les occasions ne leur ont cependant pas fait défaut. Enfin, en présence des manquements de l'Allemagne à remplir les obligations qui découlent pour elle du traité de Versailles, l'etablissement d'une barrière douanière sur le Rhin fut décidé, le 7 mars 1921, par la Conférence de Londres.

Désormais, les territoires occupés sont entourés d'un cordon douanier qui les sépare d'un côté des pays limitrophes : Pays-Bas, Belgique, Luxembourg, Sarre et France, — c'est l'ancienne ligne douanière du Reich, qui a été conservée — et, d'un autre côté, du reste de l'Allemagne, par une nouvelle ligne douanière tracée à l'est du Rhin et des têtes de pont.

Les droits que les marchandises doivent acquitter au passage de ces lignes sont fixés conformément à une ordonnance de la Haute-Commission interalliée en date du 8 avril dernier. Les dispositions en sont assez complexes, mais on peut les résumer de la manière suivante.

De France en Rhénanie, les marchandises payent en marks-or les droits prévus au tarif allemand et, si elles sont acheminées par voie indirecte, vià Hambourg par exemple, elles n'ont pas à acquitter les droits d'entrée en territoire occupé pourvu qu'elles soient munies d'un certificat d'origine et du reçu de douane délivré par les autorités allemandes.

De Rhénanie en France, les marchandises acquittent les droits allemands d'exportation. Si elles passent par Hambourg ou par tout autre point de l'Allemagne non occupée, elles acquittent à la sortie des territoires occupés les taxes et droits à l'exportation qu'elles auraient à payer à la frontière extérieure de l'Allemagne non occupée d'après les tarifs et règlements allemands en vigueur.

De France en Allemagne non occupée par la Rhénanie, les marchandises payent en marks-or les droits du tarif allemand à leur entrée en Rhénanie, mais elles traversent en franchise la ligne douanière du Rhin.

D'Allemagne non occupée en France, par la Rhénanie, les marchandises acquittent à la sortie des territoires occupés les taxes à l'exportation prévues par les lois et règlements allemands. Sous condition d'observer les règles du transit pendant la traversée des territoires occupés, elles sont exemptes de tous droits d'entrée en franchissant la ligne du Rhin. A leur entrée en France, elles sont soumises, bien entendu, au tarif général français que la création en Rhénanie d'un régime douanier spécial n'a pu en rien modifier.

D'Allemagne en Rhénanie, les marchandises payent en marks-or le quart des droits d'importation prévus par le tarif allemand.

De Rhénanie en Allemagne, les marchandises acquittent intégralement, mais en marks-papier, les droits du tarif allemand. Sur les marchandises qui, d'après le tarif allemand, sont admises en franchise de droits, il est perçu à la sortie des territoires occupés un droit de statistique de 1 mark-papier par colis, tonne, mètre cube ou tête de bétail.

Enfin, les marchandises traversant les territoires occupés et empruntant la voie du Rhin pour se rendre d'un endroit des territoires non occupés à un autre situé également en territoires non occupés acquittent à la sortie des territoires occupés les droits de statistique dont il vient d'être parlé.

Tel est, dans ses grandes lignes, le nouveau régime douanier auquel sont soumis les Pays rhénans.

Il faut ajouter que la réglementation allemande relative aux licences d'importation et d'exportation a été maintenue dans son ensemble. Les licences sont délivrées par le Haut-Commissariat de la République, qui a installé à Ems un service à cet effet pour les marchandises en provenance ou à destination de la France. Lorsque ces marchandises doivent circuler dans les territoires non occupés, elles doivent être munies d'une seconde licence accordée par l'autorité allemande compétente.

Les transports. — Les chemins de fer rhénans sont exploités par quelques compagnies particulières et surtout par l'État allemand. Leur fonctionnement n'a pas donné lieu à des plaintes sérieuses. Il y a eu une crise momentanée l'hiver dernier, lorsque la baisse du Rhin ayant complètement immobilisé la batellerie, tous les transports, et notamment celui du charbon livré en vertu des accords de Spa, ont dû être effectués par voie ferrée. Toute irrégularité prolongée dans le trafic, toute fuite du matériel roulant en Allemagne non occupée, en compromettant l'entretien et la sécurité des troupes d'occupation, aurait amené une intervention immédiate de l'autorité militaire.

C'est dans les opérations de détail que la mauvaise humeur allemande s'est manifestée : par la perte d'un nombre assez considérable de colis, dont on obtient difficilement le remboursement et par le refus de délivrer des billets circulaires à l'occasion de l'exposition de l'Art français à Wiesbaden.

Le change. — Vouloir prédire quel sera dans un avenir plus ou moins éloigné le cours des changes est chose impossible. Nul financier ne peut se vanter de le savoir. Le problème comporte trop d'éléments de nature diverse. Ceux qui hasardent un pronostic ne peuvent le baser sur aucun fait précis, mais seulement sur des impressions; aussi obtient-on autant de réponses différentes qu'il y a de personnes interrogées.

Le change n'en a pas moins une répercussion certaine sur les échanges internationaux, particulièrement sur les marchés à long terme. On comprend que l'industriel qui a commandé en Allemagne un outillage quelconque dont la livraison n'aura lieu qu'un an ou dix-huit mois plus tard, se préoccupe de savoir ce que, par rapport au franc, vaudra le mark à cette époque. Le prix à payer peut varier dans des proportions importantes et cette perspective n'est pas de nature à développer le commerce extérieur. Beaucoup de personnes ont cru néanmoins que la dépréciation de la monnaie d'un pays était pour lui une prime à l'exportation et elles ont vu dans la baisse du mark un facteur de prospérité et de relèvement pour le commerce

extérieur de l'Allemagne. Dans des discussions qui ont eu lieu récemment à la Société d'Economie politique, M. Truchy et M. Décamps se sont attachés à démontrer combien ce raisonnement était erroné. Cette question n'étant pas particulière à la Rhénanie, je ne puis que l'indiquer ici et renvoyer pour plus de détails aux rapports que je viens de citer et qui ont été publiés par le *Journal des Économistes*, dans ses numéros d'avril et de mai derniers (1).

Territoire de la Sarre. — Il n'est guère possible dans une étude économique sur les Provinces rhénanes de négliger complètement le bassin de la Sarre. Le Traité de Versailles (2) en a confié le gouvernement à une Commission représentant la Société des Nations. Le Haut-Commissariat de la République Française dans les Provinces du Rhin n'a donc aucun pouvoir sur ce territoire.

La section économique qui fonctionnait à Sarrebruck sous le régime de l'armistice et qui fut supprimée après la mise en vigueur du traité de paix, a rendu de très grands services. Elle a facilité les relations économiques dans ce pays, où, dès le début l'année 1919, nos commerçants avaient commencé à apparaître. Dans la Sarre, comme dans les autres territoires occupés, l'année 1919 fut très favorable aux transactions commerciales, mais le mouvement se ralentit en 1920 et les menées francophobes des agents de Berlin amenèrent des grèves et des émeutes d'ailleurs rapidement réprimées.

Nos compatriotes se sont d'abord groupés en une « Association des Industriels et Commerçants français », qui se transforma, à la date du 3 mai 1920, en Chambre de Commerce franco-sarroise.

Cette Chambre, dont le siège social est à Sarrebruck, 44, Kaiserstrasse, a un bureau à Paris dans l'immeuble de la Compagnie d'Assurances « La Paix », 22, rue de Mogador.

Elle recueille et échange avec les industriels et négociants et avec les diverses institutions commerciales de la France et de ses colonies, tous les renseignements utiles au développement de l'industrie et du commerce français dans la Sarre et de l'industrie et du commerce sarrois en France. D'une façon générale, elle s'occupe de tout ce qui peut faciliter et développer le mouvement d'affaires entre la France et la Sarre.

Elle admet dans son sein les Sarrois et les firmes non françaises établis dans la Sarre, mais à titre de « membres passifs » ayant voix consultative seulement. Ils ne peuvent devenir « membres actifs » c'est-à-dire avoir voix délibérative aux Assemblées générales, que s'ils sont acceptés comme tels par le Conseil d'administration.

L'activité industrielle et commerciale de cette région, bien qu'elle soit actuellement paralysée par la crise générale, peut être appelée à prendre un grand développement.

Sans parler des mines de charbon, dont la propriété a été cédée à la France par l'article 45 du Traité de Paix, le territoire de la Sarre comprend de nombreuses entreprises industrielles, appartenant surtout aux branches suivantes : métallurgie, verrerie, faïencerie et céramique. Quelques usines, comme celles de Dilling et de la

(1) Communications faites à la *Société d'Économie politique*, le 5 avril 1921, par M. Truchy, sur *le commerce extérieur de la France depuis l'armistice et la politique commerciale* et, le 4 mai 1921, par M. J. Décamps, sur *la crise des changes et le commerce extérieur* (*Journal des Économistes*, 15 avril 1921, p. 99 et 15 mai 1921, p. 224).

(2) Chapitre II de l'Annexe à la Section IV.

Société Villeroy et Boch sont d'origine française et étaient alimentées pour une part importante par des capitaux français, même avant la guerre.

Depuis, d'autres établissements, parmi lesquels les Fonderies de Fraulautern, les Usines Mannesmann de Bous et Burbach, les Verreries de Saint-Ingbert et Louisenthal, les Usines Dingler-Karcher à Sarrebruck, sont passés par voie de rachat ou par cession de la majorité des actions entre des mains françaises.

Le paragraphe 31 de l'Annexe à la Section IV du Traité de Paix a organisé pour le territoire du Bassin de la Sarre un régime douanier spécial. En principe, c'est le régime français. Cette assimilation n'est cependant pas complète. Elle comporte tout à la fois des limitations et des exceptions : des limitations en ce que les lois françaises qui n'ont pas un caractère purement douanier, par exemple les lois qui garantissent certains monopoles fiscaux comme ceux du tabac ou des allumettes ne sont pas applicables dans la Sarre, et des exceptions, dont le but est de ménager les transitions et de respecter les intérêts et les habitudes des Sarrois. C'est pour cette raison qu'ont été inscrites dans le paragraphe 31 du Traité de paix les dispositions suivantes :

« Aucune taxe d'exportation ne sera mise sur les produits métallurgiques ou le charbon sortant dudit territoire à destination de l'Allemagne, ni sur les exportations allemandes à destination des industries du territoire du Bassin de la Sarre.

« Les produits naturels ou fabriqués, originaires du Bassin, en transit sur le territoire allemand, seront libres de toutes taxes douanières. Il en sera de même pour les produits allemands en transit sur le territoire du Bassin.

« Pendant cinq ans, à dater de la mise en vigueur du présent Traité, les produits originaires et en provenance du Bassin, jouiront de la franchise d'importation en Allemagne et, pendant la même période, l'importation d'Allemagne sur le territoire du Bassin, des articles destinés à la consommation locale, sera également libre de droits de douane.

« Au cours de ces cinq années, pour chaque article en provenance du Bassin et dans lequel seront incorporés des matières premières ou des demi-ouvrés venant d'Allemagne en franchise, le Gouvernement français se réserve de limiter les quantités qui seront admises en France, à la moyenne annuelle des quantités expédiées en Alsace-Lorraine et en France au cours des années 1911-1913, telle qu'elle sera déterminée à l'aide de tous renseignements et documents statistiques officiels. »

Je ne puis, sans sortir du cadre nécessairement restreint de cet exposé, indiquer en détail comment joue ce texte. Mais, comme il a suscité dans certains milieux industriels français une réelle émotion, je dois dire que, s'il est appliqué avec une grande libéralité vis-à-vis des Sarrois, cette libéralité n'est pas exclusive de la prudence et de la fermeté nécessaires à la sauvegarde des intérêts français.

Quelques personnes ont exprimé la crainte que la frontière franco-sarroise ne fût une brèche ouverte dans notre rempart douanier et que des produits allemands librement entrés dans la Sarre comme étant destinés à la consommation locale ne pénétrassent frauduleusement en France sans acquitter aucun droit. D'autres, il est vrai, ont avancé que si une contrebande effrénée s'exerçait par cette voie, d'Allemagne en France, elle était compensée par celle, non moins importante, qui s'effectuait en sens inverse.

Toutes les fois qu'une réglementation est posée, il se trouve naturellement des

gens qui cherchent à la tourner. On ne peut donc pas affirmer qu'il ne se fasse aucune fraude à la frontière de la Sarre. Cependant, et bien qu'il soit difficile de se renseigner sur des opérations qui sont essentiellement clandestines, on peut dire, d'après des indications puisées aux meilleures sources, que le danger a été considérablement exagéré.

Pendant la période d'armistice, le commerce avec les Allemands s'est rétabli tout d'abord, dans la Sarre comme dans la Rhénanie, par l'intermédiaire de contrebandiers. Mais, depuis la mise en vigueur du traité de paix, un contrôle rigoureux et efficace rend la fraude presque impossible. Aucun produit sarrois ne peut, en effet, traverser en franchise la frontière sarro-lorraine s'il n'est accompagné d'un certificat d'origine délivré par la Douane française, la Chambre de Commerce ou les autorités locales, et visé par un agent technique français. Ces agents sont au nombre de quatre et ils passent pour n'être pas « commodes ».

Les industriels français qu'effraie l'invasion par la Sarre de marchandises allemandes peuvent donc être rassurés. On fait bonne garde. Si néanmoins des inconvénients venaient à être constatés, le Gouvernement français pourrait, ce qu'il n'a pas fait encore, user de la faculté qu'il s'est réservée, par le dernier alinéa du paragraphe 31, de limiter les quantités à admettre en France.

Le fonctionnement des services de la douane laisse d'ailleurs à désirer. La lenteur avec laquelle s'effectuent les opérations de dédouanement dans des gares frontières, insuffisamment outillées, a provoqué des réclamations générales. La création de trains directs pour le transport des produits non soumis aux droits a accéléré l'écoulement des marchandises et la situation tend à s'améliorer.

La question monétaire a soulevé de grosses difficultés.

Le paragraphe 32 de l'annexe à la section IV du Traité de Paix a admis la monnaie française à circuler sans aucune prohibition ni restriction sur le territoire du Bassin de la Sarre et l'Etat français a le droit de s'en servir pour tous ses achats ou payements et dans tous ses contrats relatifs à l'exploitation des mines ou de leurs dépendances.

Le personnel de ces mines s'étant plaint des variations incessantes du cours du mark, l'Administration domaniale le paya en francs à partir du 1er août 1920.

Les ouvriers de l'industrie privée, qui continuaient à recevoir leurs salaires en marks, ont alors protesté contre cette inégalité de traitement. Il était beaucoup plus difficile de leur donner satisfaction parce que si les mines vendent en francs leur charbon, il n'en est pas de même de la plupart des usines qui écoulent en Allemagne la moitié de leur production. Ces difficultés n'ont pu être encore entièrement surmontées car il ne s'agit de rien moins pour l'industrie sarroise que de trouver de nouveaux débouchés. On envisage cependant dès maintenant la généralisation de l'emploi du franc.

Conclusion. — L'ampleur et l'importance du sujet excusent la longueur de cet exposé. Pour le résumer et en tirer la conclusion qu'il comporte, on peut dire que c'est malheureusement au Traité de Paix lui-même et non à la mollesse du Haut-Commissaire français que sont imputables les déboires éprouvés en Rhénanie par nos commerçants. Quant à l'avenir qui leur est réservé, il dépendra, en Rhénanie, comme dans la Sarre, de notre politique extérieure, soumise elle-même au souci de

maintenir de bons rapports avec nos alliés et associés de la guerre qui, abrités par la Manche et par l'Atlantique, ne comprennent pas toujours suffisamment que le Rhin est la seule barrière qui nous sépare des « Boches » et que notre voisinage ne mettrait pas une Rhénanie plus ou moins indépendante de Berlin en plus grand danger que la Belgique.

A cette conclusion s'ajoute le double vœu :

1) Que la barrière douanière élevée sur le Rhin, à titre de sanction, ne soit pas abaissée malgré l'acceptation par l'Allemagne de l'ultimatum des alliés. Il faut espérer que les protestations qu'a fait entendre le Reichstag, dans sa séance du 30 juin dernier, et que les efforts des Allemands pour diviser les alliés resteront sans effets. On ne peut modifier périodiquement le régime douanier d'une contrée suivant le degré de bonne ou de mauvaise volonté qu'apportera l'Allemagne à remplir ses engagements. Le plus sûr moyen d'en obtenir l'accomplissement intégral et de sauvegarder nos intérêts commerciaux est de conserver solidement entre nos mains le gage rhénan et de maintenir à la Haute-Commission interalliée la puissance économique dont l'a investie la Conférence de Londres.

2) Que le gouvernement n'hésite pas, si les importations de la Sarre en France prenaient un caractère anormal et paraissaient devoir mettre en péril des industries françaises, à limiter, conformément au dernier alinéa du paragraphe 31 de l'Annexe à la Section IV du Traité de Paix, les quantités à admettre en franchise à la moyenne annuelle des quantités expédiées en Alsace-Lorraine et en France au cours des années 1911-1913.

Paris, le 7 juillet 1921.

J. CAPTIER.

L'ASSOCIATION INTERNATIONALE DES CHEMINS DE FER. SA SITUATION ACTUELLE

Nous avons sous les yeux une note sur « La situation actuelle de l'Association internationale des Chemins de fer », due à M. Colson, vice-président de la Commission permanente et membre de l'Institut.

Nous croyons utile d'en extraire quelques indications générales.

C'est à Bruxelles, en 1885, que se réunit le premier Congrès international des Chemins de fer et c'est à ce congrès que furent posées les bases d'une association permanente, dont les statuts ont été arrêtés en 1887, au Congrès de Milan. Depuis lors, jusqu'à la grande guerre, l'Association a régulièrement tenu des congrès, espacés d'abord de deux ans, puis de trois et enfin de cinq.

A l'origine, les questions mises à l'ordre du jour de chaque section étaient très nombreuses, et chacune d'elles ne faisait l'objet que d'un rapport. Pour rendre la documentation plus complète, sans imposer un travail excessif aux rapporteurs, toujours pris parmi des fonctionnaires chargés de lourds services, l'usage s'est établi de désigner pour chaque question plusieurs rapporteurs, chargés chacun de l'étudier dans un ou plusieurs pays, en limitant à quatre le nombre des questions mises à l'ordre du jour de chacune des cinq sections.

Aux deux premières sessions en ont succédé six autres (Paris, 1889; Saint-Pétersbourg, 1892; Londres, 1895; Paris, 1900; Washington, 1905; Berne, 1910).

Dans l'intervalle des sessions, le contact entre les adhérents est conservé par la publication d'un bulletin mensuel. Celui-ci contient, outre des articles originaux, des reproductions des articles les plus intéressants parus dans le monde entier. Ce bulletin publie aussi tous les exposés rédigés à l'occasion des divers congrès, ainsi que les comptes rendus des discussions. Édité en langue française depuis 1887, il possède une édition anglaise depuis 1896. La neuvième session aurait dû se tenir à Berlin en 1915.

Après la guerre, lorsque le Gouvernement belge fut de retour en

Belgique, l'Association a été mise sous séquestre en vertu de la loi belge du 10 novembre 1918.

Le séquestre ayant ordonné la dissolution et la liquidation de la Société, les administrations de chemins de fer, membres effectifs de l'Association, appartenant à trente-cinq pays d'Europe ou hors d'Europe, décidèrent de transmettre leur avoir à une nouvelle association dénommée « Association internationale des Chemins de fer ».

Les pays participants sont :

Argentine.	France, Algérie, Tunisie et colonies.	Pays-Bas et colonies.
Belgique et colonie.	Grande-Bretagne et Irlande, Empire des Indes, protectorats et colonies.	Pérou.
Bolivie.	Grèce.	Pologne.
Brésil.	Haïti.	Portugal et colonies.
Chili.	Italie.	Roumanie.
Chine.	Japon.	Salvador.
Costa-Rica.	Luxembourg.	Royaume des Serbes, Croates et Slovènes.
Cuba.	Mexique.	Siam.
Danemark.	Nicaragua.	Suède.
République Dominicaine.	Norvège.	Suisse.
Égypte.	Paraguay.	Tchéco-Slovaquie.
Équateur.		Uruguay.
Espagne.		
États-Unis d'Amérique.		

Les statuts de l'Association, que le prochain Congrès arrêtera, comporteront un article permettant d'étendre l'Association à d'autres pays par un vote écrit de la Commission permanente réunissant une majorité des trois quarts des membres.

Par arrêté royal du 15 septembre 1919, le Gouvernement belge a maintenu son adhésion et a transféré à la nouvelle Association tous les avantages accordés à sa devancière. Les gouvernements des pays auxquels s'étend l'Association ont également maintenu leur adhésion.

La publication du Bulletin a été reprise depuis le mois de juillet 1919 (éditions française et anglaise).

Le prochain congrès se tiendra à Rome en avril 1922. Les questions mises à l'ordre du jour avant la guerre y ont été maintenues, parce qu'elles n'avaient rien perdu de leur intérêt.

L'Association se compose actuellement de 260 administrations dont les lignes ont un développement de 366.431 km, nombre voisin de celui de 1904 (442.000 km).

La réduction du nombre des adhérents de 350 à 260 s'explique

surtout par la fusion ou le rachat par les états de nombreux réseaux; il a d'ailleurs été décidé qu'on n'admettrait plus les chemins de fer n'exploitant pas au moins 100 km.

La non-participation de l'Allemagne ne fait que ramener l'Association à la situation où elle était avant la session de Washington en 1905. Les Allemands avaient refusé jusque-là de participer à un groupement où leur hégémonie n'eût pas été assurée et qu'ils considéraient comme rival du *Verein deutscher Eisenbahnverwaltungen*; ils n'ont fait partie de l'Association que de 1905 à 1914. L'ancien Empire austro-hongrois y est déjà remplacé par les nouveaux états qui lui ont succédé. L'absence de la Russie est due à des causes sans doute aussi temporaires.

L'Association internationale des chemins de fer est donc en situation de poursuivre ses travaux, en rendant les mêmes services qu'avant la guerre. L'importance de ces services est considérable.

D'abord les questions traitées dans les différentes sessions touchent à toutes les branches de l'activité des chemins de fer, à leur construction, leur exploitation, leur administration et leur législation. Les rapports qui ont servi de base aux discussions et aux résolutions sont d'une très grande valeur, surtout parce qu'ils résultent d'enquêtes approfondies faites auprès de toutes les administrations de chemins de fer, par des hommes tous mêlés à la vie active, dans la branche même que chacun d'eux est chargé d'exposer. On a ainsi réuni des matériaux extrêmement précieux, qui n'existeraient pas sans l'Association et dont l'ensemble constitue une véritable encyclopédie que tout administrateur ou tout ingénieur de chemin de fer a intérêt à posséder.

Ensuite, les congrès établissent entre les hommes qui, dans toutes les parties du monde, dirigent les chemins de fer, des relations d'amitié ou d'estime mutuelle dont les effets ne peuvent être que fructueux.

Pour que le futur Congrès continue à rendre des services, il est nécessaire que l'étendue de son champ d'action ne soit point réduite et c'est pourquoi l'intérêt commun des chemins de fer du globe est qu'aucune des administrations adhérentes à l'Association ne cesse d'en faire partie et que celles des pays participants qui n'en sont pas actuellement membres s'y fassent inscrire ou réinscrire.

L. W.

COMPTES RENDUS

DES SÉANCES DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT

CONSEIL D'ADMINISTRATION

SÉANCE PUBLIQUE

DU 7 MAI 1921

Présidence de M. L. BACLÉ, président.

La séance est ouverte à 17 h.

Le procès-verbal de la précédente séance est approuvé.

M. Marcel MAGNE, membre du Comité des Constructions et Beaux-Arts, fait une communication et un rapport sur les *nouveaux procédés géométriques de décoration* de M. JOSEPH FERNAND RHODES, dit JOSEFERN (1).

Ce rapport est approuvé.

M. Marcel MAGNE présente ensuite quelques spécimens de *fleurs artificielles* obtenues par un procédé nouveau, imaginé par Mlle MARIA SOLLE, à qui la Société d'Encouragement a accordé, en juillet 1919, la remise des frais d'une prise de brevet et la première annuité de ce brevet.

Ces fleurs, destinées surtout à orner des chapeaux ou des robes de soirée, sont en étoffe, sans colle ni apprêt, entièrement cousues et sans couture apparente.

Chaque pétale ou feuille est découpé en un flan suivant un patron plié de manière que le pli forme le bord externe du pétale ou de la feuille; les bords libres sont ensuite froncés et rapprochés par une couture courbe non apparente car elle reste à la base de la feuille ou du pétale. En faisant ces opérations, on appuie légèrement avec le pouce sur le flan du côté qui doit former la face externe du pétale de façon que cette face présente une surface plus grande que la face interne, ce qui a pour effet de gauchir le pétale. Dans certains cas, on peut obtenir ce résultat par une forme appropriée du patron. En outre, les pétales de certaines fleurs peuvent

(1) Ce rapport est reproduit à la page 525 du présent numéro.

être obtenus par retournement, comme on le fait d'un doigt de gant, de façon à ne pas faire apparaître la couture.

Il convient, bien entendu, comme l'a fait l'inventeur, de choisir pour chaque fleur, chaque feuillage, le tissu qui en rend le mieux non seulement la couleur, le velouté, la légèreté, la transparence, mais la texture et l'attitude.

E. L.

M. Baclé, *président*, remercie M. M. Magne de ses deux intéressantes communications : elles prouvent que le bon goût et l'ingéniosité sont des qualités innées de notre race : les deux inventions qui en font l'objet possèdent d'ailleurs le caractère industriel, ce qui n'en diminue pas le mérite.

M. Baclé, *président*. — Vous allez entendre la conférence que M. Umbdenstock veut bien nous faire ce soir sur la nécessité de l'instruction artistique pour l'ingénieur moderne français. A ce titre, vous reconnaîtrez que cette conférence se rattache effectivement à la remarquable communication que notre éminent collègue, M. Magne, vient de nous faire, et nous pouvons dire d'autre part, qu'elle rentre bien dans l'objet des travaux de notre Société, puisque l'instruction artistique des ingénieurs est appelée à exercer une répercussion nécessaire sur la valeur de leurs travaux et par suite sur les progrès de l'industrie que notre Société a pour mission de promouvoir; c'est le thème que M. Umbdenstock va développer devant vous avec une conviction persuasive tout à fait impressionnante. Vous admirerez chez lui l'ardeur de l'apôtre tout pénétré de la foi qu'il enseigne, alors qu'il va dégager devant vous, pour ce qui concerne cet art fondamental de l'architecture, les affinités secrètes rattachant les formes successives qu'elle a revêtues à travers les âges, aux civilisations qui leur ont donné naissance et qui ont trouvé leur expression morale dans ces formes matérielles. C'est là une observation de principe que les critiques d'art ont déjà faite depuis longtemps, sur laquelle, en particulier, avait insisté autrefois le philosophe Taine dans ses cours à l'École des Beaux-Arts, mais, M. Umbdenstock, en sa double qualité d'ancien élève et de professeur aux deux Écoles Polytechnique et des Beaux-Arts, est à la fois artiste et ingénieur en même temps que philosophe, et il a su édifier sur cette observation incontestée des théories tout à fait originales, mathématiquement enchaînées avec la rigueur de l'esprit géométrique; il s'efforce ainsi de retrouver cette expression morale dans toutes les manifestations artistiques de l'époque considérée, dans tous les motifs de décoration qu'elle a adoptés et jusque dans le tracé sinueux de la ligne isolée. Ainsi développées et amplifiées, ces théories, qui parfois heurtent les opinions reçues, vous paraîtront peut-être un peu étonnantes et sujettes à discussions; mais dans un milieu éclairé et indépendant comme le nôtre nous n'oublierons pas que c'est là le

sort commun de toutes les idées originales qui ont toujours pour effet de soulever la contradiction lorsqu'elles apparaissent pour la première fois; il serait donc téméraire à nous de condamner par avance des conceptions nouvelles parce qu'elles ne sont pas d'accord avec celles que nous nous sommes déjà faites; nous ne savons pas en effet si l'avenir ne les retiendra pas de préférence aux nôtres, et, en fait, à notre époque présente, alors que nous avons perdu l'espérance d'atteindre la vérité absolue dans toute sa plénitude, nous comprenons mieux que jamais qu'aucune des hypothèses diverses pouvant être proposées pour l'explication des faits ne doit être dédaignée *a priori*, car elle renferme presque toujours un aspect de la vérité aperçue d'un point de vue approprié, et, dès lors, l'hypothèse à retenir devient celle qui est la plus féconde dans les aperçus nouveaux qu'elle va suggérer alors même que ces aperçus auront pour effet de la renverser. C'est peut-être là le cas pour les théories que M. Umbdenstock va développer devant vous, mais, je ne doute pas que sa conférence, toute remplie d'idées suggestives, ne vous paraîtra particulièrement intéressante, et je lui donne la parole en m'excusant de la longueur de ce préambule.

M. UMBDENSTOCK, professeur d'architecture à l'École polytechnique et à l'École des Beaux-Arts, fait une communication sur la *nécessité de l'instruction artistique pour l'ingénieur moderne français*.

Sans attacher au mot caste une idée de privilège, le conférencier note que toutes les fois que, dans l'évolution de l'humanité, une période a connu ce qu'on est convenu d'appeler un style, une architecture, une civilisation, une époque, c'est que, dans le pays où cette civilisation s'est développée et y a pris toute son ampleur, le peuple y vivait harmoniquement avec la caste dirigeante de cette époque. Pour lui, les castes dirigeantes, étant toujours plus instruites, plus affinées que le peuple, et moins sensibles que lui à l'émotion, réagissent moins fortement aux impressions, aux forces extérieures qui entraînent vers des manifestations nouvelles. Pour que les classes populaires vibrent en harmonie avec la classe dirigeante, il faut un lien commun entre elles; ce lien, le conférencier le voit dans l'art. Il note ainsi dans l'histoire de la France, plusieurs périodes, plusieurs « saisons », pendant lesquelles ce lien a existé et a été assez fort.

L'existence de ce lien est traduite par un style, une architecture, dont les monuments sont encore pour nos yeux la preuve de ce lien. Le Français est naturellement artiste; il possède aussi au suprême degré la faculté de comprendre et de s'adapter : notre pays, peut-être plus que tout autre, s'est donc laissé entraîner assez facilement dans le mouvement artistique caractéristique de certaines époques. Il leur a toujours donné une empreinte personnelle, originale.

Mais c'est au Moyen Age, à l'époque du style ogival, dit gothique mais à tort, que nous avons été vraiment nous-mêmes. Chacun alors aimait son métier et l'exerçait avec joie; chaque artisan qui collaborait à l'édification d'une grande œuvre, en comprenait la beauté, et y apportait une part de collaboration personnelle mais

toujours en harmonie avec l'ensemble. La race française, à l'époque gothique, était visuelle au point de vue artistique. Elle a perdu cette qualité qui correspond à une véritable force nationale, car elle entraînait à la glorification du travail.

Graduellement, depuis l'invention de l'imprimerie, nous sommes devenus des livresques, des scientifiques, des analystes : c'est l'exactitude, la précision qui règlent la vie moderne et ce sont les réalisateurs des applications de la science, les ingénieurs, qui jouent le rôle dominant dans notre société, ce sont eux qui, vraiment aujourd'hui en sont la caste dirigeante. Cette caste a perdu la faculté de voir, de sentir, de vibrer. Affinée à l'extrême, elle aime le plat, le gris, le monotone, le calme; le peuple aime le volume, la couleur, le bruit, l'éclatant; il n'analyse pas ses sensations, mais il sent fortement : ses sensations sont synthétiques : il est plus artiste.

Ce désaccord, poussé à l'extrême à l'époque présente, peut expliquer bien des heurts, bien des faits. Les peuples actuels, de race blanche, sont des peuples d'action, auxquels conviennent, par logique d'adaptation, une architecture et un art d'action. On n'aperçoit encore que de trop rares manifestations de cet art d'action. L'action s'introduit, il est vrai, assez naturellement dans les créations de l'ingénieur moderne, mais il doit aussi s'attacher à construire beau. Il n'en coûte pas plus souvent que de construire laid.

Il dispose de matériaux et de moyens que ses devanciers ignoraient; il ne doit point y recourir sans préoccupation esthétique, et quelque peu en accord avec le goût de ceux qui sont chargés de l'exécution matérielle de l'œuvre conçue, sinon l'ouvrier y travaillera sans goût, sans entrain, sans satisfaction personnelle. Il restera un mauvais collaborateur. C'est la masse du peuple, d'ailleurs, à qui souvent le monument est destiné, qui jugera de sa valeur artistique quand il sera terminé. Il faut donc à l'ingénieur une éducation artistique et aussi une meilleure compréhension du goût populaire.

Comment acquérir cette éducation artistique? non pas en accumulant des connaissances nouvelles : les règles du beau sont immuables — mais en se laissant aller à admirer tout ce qui lui plaît, que ce soit une œuvre de l'homme ou de la nature ; toutes ces œuvres ont leurs défauts : qu'il les néglige : il analyse si habilement qu'il lui est trop aisé de les trouver; qu'il lui suffise de rechercher les raisons pour lesquelles certaines œuvres lui plaisent et, tout naturellement, son sens artistique s'épurera et se fortifiera.

Il conviendrait aussi de remettre en honneur l'étude des sciences naturelles dans notre enseignement primaire et secondaire. Elle développe le sens visuel, les facultés émotives : le monde vivant est une source inépuisable de beauté, d'émotions et d'inspirations. C'est par suite de l'orientation presque exclusive vers les sciences exactes donnée à notre enseignement que les enfants se détournent de ce qui, naturellement, les attirait le plus dans leur jeune âge : les animaux, les plantes, tout ce qui vit, sent et vibre.

E. L.

M. Baclé, *président*. — Vos applaudissements expriment mieux que je ne saurais le faire tout l'intérêt avec lequel vous avez entendu M. Umbdenstock et je suis certain d'être votre interprète en lui exprimant tous nos remerciements pour la conférence si suggestive qu'il vient de nous présenter avec

tant d'ardeur et de conviction. Vous y avez retrouvé, comme je vous le disais, cette observation de principe qui domine tout essai de la philosophie de l'art de l'architecture en particulier en rappelant qu'elle conserve toujours l'empreinte morale des civilisations dont elle est issue. Vous aurez suivi quelquefois peut-être avec étonnement, dans ces développements si originaux, les conséquences curieuses qu'il sait tirer de ce principe, et, si parfois vous croyez devoir opposer certaines réserves, vous aurez admiré néanmoins l'ingéniosité avec laquelle M. Umbdenstock sait les présenter. Enfin et surtout, vous serez d'accord avec lui pour reconnaître le grand intérêt patriotique qui s'attache pour nos ingénieurs et pour le pays tout entier à ce qu'ils acquièrent ces connaissances artistiques dont ils devront s'inspirer dans leurs travanx. C'est par elles, en effet, qu'ils sauront interpréter les monuments du passé, et trouver aujourd'hui, pour leurs créations nouvelles, les formes répondant le mieux aux sentiments intimes, aux préoccupations morales de nos contemporains dont ils conserveront ainsi l'expression matérielle pour les siècles à venir.

La séance est levée à 18 h. 45 m.

BIBLIOGRAPHIE

Construction et réglage du moteur à explosions appliqué à l'automobile et à l'aviation. Manuel pratique de construction des moteurs à explosions. Calculs généraux. Recherche des dimensions et de la meilleure forme à donner aux pièces. Mise au point d'un moteur construit, par M. LOUIS LACOIN, Ingénieur des Arts et Manufactures, ancien professeur de machines thermiques à l'École centrale, 8e éd. Un volume (24 × 18 cm) de 502 p., avec 221 fig. Paris, Librairie de l'Enseignement technique, Léon Eyrolles, éditeur, 1921. (Prix, 25 f).

Le titre et le sous-titre de cet ouvrage en indiquent exactement le contenu, et toutes les matières qu'ils mentionnent y sont traitées avec grands détails. Si ces détails sont assez complets pour guider ceux qui étudient de nouveaux moteurs, ils sont aussi fort intéressants pour tous ceux qui veulent bien connaître le fonctionnement de cette classe de machines. Toutes les dispositions sont discutées avec soin.

A titre d'exemple, nous dirons que 37 pages sont consacrées à l'étude des bagues ou segments de pistons sans qu'on puisse y relever aucun développement superflu. Toutes les pièces des machines, d'ailleurs, sont traitées avec le même soin.

On sait quelle difficulté on éprouve fréquemment lorsqu'on recherche un renseignement précis sur un détail quelconque d'une machine, malgré le grand nombre d'ouvrages techniques qui leur sont consacrés. En ce qui concerne le moteur à explosions, on peut, en pareil cas, recommander avec confiance le traité de M. Lacoin.

E. SAUVAGE.

Nouveau manuel complet de typographie, par M. ÉMILE LECLERC, ancien Directeur de l'École professionnelle Lahure, prote de l'Imprimerie Frazier-Soye (*Manuels Roret*). Un vol. broché (15 × 9 cm) de 655 p., avec V planches en couleurs. Paris, L. Mulo, 12, rue Hautefeuille, 1921 (9 f).

Ce volume de la collection des Manuels Roret, où abondent des ouvrages excellents, nous paraît appelé à rendre surtout service à tous ceux qui écrivent et font imprimer. Si les auteurs connaissaient seulement les grands principes de la composition typographique et des travaux d'impression, bien des frictions avec les imprimeurs seraient évitées, bien des fausses manœuvres, des retards, des gaspillages d'argent et de matières seraient supprimés. Les typographes et tous ceux qui travaillent manuellement dans l'édition représentent une élite parmi les ouvriers tant au point de vue intellectuel qu'au point de vue moral; ils possèdent même, en général, un sens artistique très développé. Et cependant, l'auteur qui ne s'en doute pas et qui corrige ses épreuves, en placards ou en pages, éprouve souvent quelque surprise et même quelque mécontentement en constatant les erreurs qu'il doit cor-

riger. Aussi n'y a-t-il pas de profession où l'ouvrier reçoive plus de reproches. Ces reproches sont d'autant plus vifs que l'amour-propre des auteurs est extrêmement sensible. Ils sont presque toujours injustes; car c'est l'auteur qui, le plus souvent, ignorant des choses de la typographie, est responsable des malfaçons qu'il constate sur ses épreuves. Il ne sait pas quel zèle, quelle bonne volonté, quelle initiative, quelle intelligence presque toujours les typographes et les correcteurs ont à déployer pour déchiffrer son manuscrit et pour suppléer à l'absence d'indications typographiques, et même, quelquefois... de toute orthographe.

Les auteurs, en lisant ce Manuel, n'apprendraient-ils qu'à rédiger plus soigneusement leurs manuscrits et à corriger les épreuves, qu'il aurait déjà rendu un très grand service. Il ne faut pas oublier qu'actuellement les corrections typographiques se paient de 4 à 5 f l'heure, et que l'imprimeur prend presque toujours à sa charge un tiers ou un quart du temps passé aux corrections, parce que les erreurs correspondant à cette fraction lui paraissent imputables aux typographes ou aux correcteurs.

Mais les « maîtres » et les « bons compagnons » liront aussi ce manuel avec plaisir.

Le Manuel de M. Leclerc sera précieux pour les typographes et les correcteurs d'imprimerie, mais c'est aux apprentis de cette profession qu'il est destiné. Ces braves gens savent beaucoup de choses, en dehors de leur métier, mais ils ne peuvent être universels, ce que les auteurs oublient trop souvent : ils trouveront dans ce manuel juste ce qu'il faut d'explications, par exemple : pour composer convenablement un texte dans une langue étrangère, vivante ou morte, qu'ils peuvent ignorer; pour composer des formules algébriques, chimiques, de la musique, des tableaux.

Le plan adopté pour l'ouvrage procède logiquement du simple au complexe. Les apprentis y trouveront l'exposé élémentaire des phases successives du métier, accompagné de démonstrations techniques et des indications de détail nécessaires : le tout en un style clair et précis; ils compléteront ainsi leur instruction pratique.

En dehors d'un historique étendu, qui abonde en notes et en observations utiles, des détails rétrospectifs intéressants sont fournis sur l'origine de nombreux termes et usages : il y a là de quoi satisfaire l'esprit le plus curieux. De nombreuses illustrations ornent le texte. On y trouvera, à côté des anciens modèles de presses, les dernières nouveautés de nos fondateurs, les machines les plus perfectionnées et les plus récentes. Les annonces et les affiches font l'objet d'un chapitre spécial. Il en est de même pour l'histoire de la musique typographique. Cette partie, peu connue, est très documentée et abondamment illustrée. La composition du plain-chant est traitée abondamment.

Le Manuel se termine par une description des presses à imprimer, de la fabrication du papier, par des études : sur la stéréotypie, les procédés d'illustration anciens et nouveaux.

Ce petit Manuel se recommande encore à d'autres points de vue, d'ordre sentimental. Pendant la guerre, les professionnels de la typographie et de l'impression n'ont pas été rappelés dans les usines de guerre : il y a eu chez eux une forte proportion de morts et d'inaptes. Actuellement, ceux qui ont survécu sont surmenés, débordés de travail. Ils continuent cependant à travailler avec beaucoup d'entrain, mais ainsi s'explique que, quelquefois, dans ces derniers temps, les travaux d'impression aient manqué un peu de cette perfection à laquelle nous étions accoutumés avant la guerre : les ouvriers n'en sont pas responsables.

C'est la seule corporation qui ait toujours formé des apprentis; c'est la seule peut-être aussi où les apprentis apprennent vraiment leur métier, sans perte de temps, et rencontrent toujours de la bienveillance chez leurs anciens. Presque tous, jeunes et vieux, aiment leur métier et l'exercent avec plaisir, avec amour-propre, avec passion presque.

C'est une des corporations où les ouvriers restent le plus longtemps chez le même patron; où l'ouvrier peut devenir assez facilement et devient souvent un chef : fréquemment un de ces chefs, devenu directeur d'une maison, y a débuté comme apprenti.

Il ne faut pas oublier non plus que cette corporation est la première qui ait compris le mécanisme de la vie chère, l'illusion des hauts salaires et qui ait renoncé aux augmentations de salaires quand le coût de la vie croissait démesurément, mais à condition que tous ceux qui tiendraient une plume combattraient la vie chère.

Enfin, tous les travailleurs manuels de l'impression sont de bons collaborateurs de cette grande œuvre de l'expansion de la pensée, qui est si chère aux Français. Pour toutes ces raisons, ils forment une corporation très sympathique et qu'il y a intérêt à connaître. Nous croyons que l'excellent manuel de M. Leclerc, en la faisant mieux connaître ou en la révélant à ceux qui l'ignorent, est de nature à la rendre plus sympathique encore, à créer ou à resserrer davantage les liens qui doivent unir étroitement ceux qui manient la plume et ceux qui manient le « caractère ». Leur bonne collaboration est indispensable si nous voulons conserver le bon renom du livre français. Nul ne s'entend mieux que les Français, nous disait un jour un étranger qui nous connaissait bien, à rédiger un livre bien fait, où les idées sont claires, précises, logiquement enchaînées et exprimées dans un style à la fois concis et élégant. Encore faut-il que cette quintessence soit bien présentée et c'est là la tâche de l'imprimeur, du typographe.

E. L.

Mission d'Études forestières : Tome IV : Les bois du Cameroun, par MM. A. Bertin, Inspecteur des Eaux et Forêts, F. Gravet et F. Pellegrin; — Tome V : Les bois de la Guyane française et du Brésil, par MM. A. Bertin, M. Bettenfeld et R. Benoist. 2 vol. br. (16 × 25 cm) de 312 et 324 p. avec figures, planches et cartes hors texte, 1920. Paris, E. Larose, édit. Prix : 25 et 18 fr.

Ces deux volumes font suite aux trois premiers tomes du même auteur sur la question forestière coloniale, les bois de la Côte d'Ivoire et du Gabon dont il a été rendu compte ici-même et qui sont l'exposé de travaux considérables, ayant valu à leur auteur une des récompenses de la Société d'Encouragement (1).

Ils se recommandent par la même documentation précise, abondante. On y trouvera de même, outre des renseignements généraux sur la géographie physique, la géologie, les habitants, l'administration et les moyens de transport du pays étudié pour ses bois, l'étude spéciale de ses forêts, l'« état civil » des bois usuels, ouvrables, les possibilités de leur exploitation et de leur utilisation immédiate ou lointaine,

(1) Voir dans le *Bulletin* de janvier-février 1920, p. 17-21, le rapport de M. Dobat sur la *mission forestière coloniale* du commandant Bertin.

Le tome V renferme en outre une comparaison entre les forêts du Brésil et les forêts d'Afrique.

La publicité en douze leçons, par M. George M. de Quesnel, traduit de l'anglais par M. J.-A. Saussaye. Un volume broché (12×19 cm) de 72 p., G. et M. Ravisse, éditeurs, 52, rue des Saints-Pères 1921. (Prix : 4,50 fr.)

L'auteur de ce livre a eu pour but de donner en quelques chapitres tout ce qu'il faut savoir d'essentiel pour rédiger, composer et illustrer une annonce, un catalogue, etc., si on veut qu'ils produisent l'effet qu'on en attend.

C'est un manuel élémentaire qui s'adresse surtout aux chefs d'entreprise qui désirent avoir des idées générales, mais exactes, sur la publicité qu'ils veulent faire ou faire faire, en laissant à d'autres le soin d'établir des annonces bien conçues.

Voici, avec quelques commentaires, le sujet traité dans les douze leçons :

1. Publicité générale. L'annonce doit : attirer l'attention; exciter l'intérêt; créer le désir de posséder; inciter à acheter;

2. L'annonce-article. Simple texte permettant de donner des explications assez étendues. Son titre doit répondre au contenu ;

3. L'annonce illustrée. Il faut un accord complet entre le dessinateur et le rédacteur du texte, et de l'harmonie entre texte et dessin;

4. L'annonce proprement dite, sans dessin. L'effet dépend du choix du texte, de sa concision et des caractères typographiques employés. Ne pas trop s'en rapporter à la science et au goût de l'imprimeur, quoique quelques-uns soient fort habiles;

5. La petite annonce, groupée. La plus difficile car il y faut dire clairement beaucoup de choses précises et intéressantes en peu de mots, et parce que rien en dehors du texte n'y attire l'attention;

6. Le texte;

7. La publicité directe. C'est celle des annonces qui renferment le nom et l'adresse du vendeur;

8. Le follow up. Méthodes à employer pour relancer l'acheteur éventuel en lui envoyant des lettres et des brochures après qu'il a demandé des renseignements;

9. Circulaires, brochures, catalogues;

10. L'emploi des caractères typographiques et des encadrements. Ils doivent être appropriés à la marchandise préconisée. Ainsi les caractères massifs donnent une impression de solidité et de force; ils seraient déplacés pour annoncer du linge fin, des objets de luxe;

11. Clichés. L'emploi de zincs, ou traits, ou bien de similis (reproduction des photographies, des lavis, etc.) dépend de l'article annoncé et du papier employé;

12. L'agent de publicité. Les bons sont rares. Souvent indispensable quoique simple intermédiaire, ses fonctions ont rarement quelque chose de commun avec celles du technicien de la publicité qui rédige, compose, illustre une annonce. Il y aurait intérêt à ce qu'il se confondît avec celui-ci.

Recueil de formules et tableaux à l'usage des techniciens, publié par l'Association des élèves sortis de l'École industrielle de Liége. Un vol. broché (22×14 cm) de 72 p. avec une figure, Grivenée (Belgique), J. Lepalme, 100, rue Haute-Wez, 1921. (2,50 f).

Cet excellent petit aide-mémoire ne renferme guère que des renseignements

vraiment utiles et d'un intérêt général. Il s'adresse surtout aux ingénieurs, mécaniciens ou constructeurs. On y trouvera notamment les dimensions des boulons dans le système international et des renseignements détaillés sur le calcul des engrenages droits et coniques.

Catéchisme des chauffeurs et des conducteurs de machines, rédigé sous les auspices de l'Association des Ingénieurs sortis de l'Ecole de Liége, par MM. Beer, de Vaux, Stévart, Dechamps, Hubert et Smal. Tome I : *Les chaudières et le chauffage*. Un vol. broché (13 × 17,5 cm.) de 100 p., 17 figures, une planche hors texte. 9e édit. 1921, Liége, Impr. Vaillant-Carmaune, 4, place Saint-Michel. Prix : 3 fr.

Cette sorte d'aide-mémoire, dont la première édition remonte à 1867 (la 8e a été traduite en espagnol, en italien et en flamand) renferme (une partie sous forme de demandes et réponses, enchaînées méthodiquement) l'essentiel de ce que doivent savoir les bons chauffeurs de chaudières à vapeur (y compris celles des remorqueurs) et de locomotives. La partie du livre qui procède par demandes et réponses paraphrase, commente ou éclaire plus en détail les exposés d'ensemble qui sont donnés tout d'abord.

La planche, mesurant 31 × 39 cm, est une réduction de l'affiche intitulée « Conseils au chauffeur » qui a été adoptée par l'Association belge de Standardisation pour être apposée dans les chaufferies. Cette association a adopté ce catéchisme comme base de la propagande qu'elle se propose de faire en vue d'unifier les méthodes de travail à recommander dans les chaufferies comme propres à obtenir la plus grande économie possible de combustible.

OUVRAGES REÇUS A LA BIBLIOTHÈQUE
EN MAI 1921

ESPITALLIER (G.). — **Cours raisonné et détaillé du bâtiment.** 11[e] partie : **Composition des façades et du parti architectonique** (*Cours professé à l'École spéciale des Travaux publics, du Bâtiment et de l'Industrie*). In-8 (22 × 17) de 282 p., 343 fig. Paris, École spéciale des Travaux publics, 1921. **16218**

AMMANN (P.), ARIBERT (M.), CHALOT (C.), DENIS (M.) et VIDAL (L.). — « **Papyrus** » **et papier de** « **Papyrus** » (*Bibliothèque du Jardin colonial*). In-8 (25 × 16) de 63 p., VI pl. **Bibliographies**, p. 15-16 et 51. Paris, E. Larose, 1921. **16219**

Frederick Winslow Taylor. — A Memorial Volume. Being addresses delivered at the funeral of Frederick Winslow Taylor, Cedron, Indian Queen Lane, Germantown, Philadelphia, Pa., March 24, 1915; at a Memorial Meeting held under the auspices of the Society to promote the science of management (now Taylor Society), University of Pennsylvania, Philadelphia, Pa., October 22, 1915; and at Mr. Taylor's Home « Boxly », Chestnut Hill, Philadelphia, Pa., October 23, 1915. In-8 (24 × 15) de VIII + 115 p., I pl. New York, Taylor Society, 1920. **16220**

L'Aluminium dans l'industrie électrique. — Rapports de la XV[e] Commission de l'Union des Syndicats de l'Électricité. In-4 (27 × 21). (*Les conducteurs d'électricité en aluminium*, par M. DUSAUGEY, p. 1-26. — *Applications de l'aluminium aux machines électriques et enroulements*, par M. P. BUNET, p. 27-38. — *Sur l'emploi de l'aluminium pour l'établissement des canalisations isolées*, par M. GROSSELIN, p. 39-43. — *Applications de l'aluminium et de ses alliages à la construction du matériel roulant des tramways*, par M. LEGRAND, p. 44-52. — *Emploi de l'aluminium dans la construction des lignes aériennes*, par M. DUVAL, p. 53-62. — *L'aluminium dans l'appareillage électrique*, par M. ZETTER, p. 63-78, 2 fig. et 97-102, II pl. — *Emploi des câbles armés en aluminium pour l'alimentation des installations de traction électrique*, par M. PÉRIDIER, p. 79-90. — *Application de l'aluminium au gros appareillage*, par M. DROUIN, p. 91-96, 1 fig.). Paris, Revue générale d'Électricité, 12, place de Laborde, 1920. **16221**

ZORETTI (L.). — **Cours de cinématique appliquée** professé aux élèves de 1[re] année de l'Institut technique de Normandie. (*Publications de l'Institut technique de Normandie*). In-8 (23 × 14) de 64 p., 72 fig. Caen, Institut technique de Normandie, 1921. **16222**

PRÉFECTURE DE POLICE (2[e] division, 2[e] bureau). — **Rapport sur les opérations du Service d'Inspection des Établissements classés dans le département de la Seine pendant l'année 1919**, présenté à M. le Préfet de Police, par M. E. PORTIER. In-4 (27 × 21) de 56 p. Paris, Imprimerie Chaix, 1921. **16223**

WITZ (AIMÉ). — **Les gazogènes et l'économie du combustible** (*Encyclopédie industrielle*). In-12 (19 × 12) de 384 p., 100 fig. **Bibliographie**, p. 377-378. Paris, J.-B. Baillière et fils, 1921. **16224**

JAUCH (L.). — **Le pétrole et son industrie.** In-8 (25 × 16) de III + 366 p., 73 fig. **Bibliographie**, p. 359-361. Paris, Augustin Challamel, 1921. **16225**

JUMELLE (HENRI). — **Les huiles végétales.** Origines, procédés de préparation, caractères et emplois (*Encyclopédie industrielle*). In-12 (19 × 12) de 406 p., 125 fig. Paris, J.-B. Baillière et fils, 1921. **16226**

Lacoin (Louis). — **Construction et réglage du moteur à explosions appliqué à l'automobile et à l'aviation.** Manuel pratique de construction des moteurs à explosions. Calculs généraux. Recherche des dimensions et de la meilleure forme à donner aux pièces. Mise au point d'un moteur construit. 8e éd. In-8 (24 × 18) de 502 p., 221 fig. Paris, Librairie de l'Enseignement technique, 1921. **16227**

*
* *

Guérin (R.). — **L'aluminium** (Emplois industriels du métal et de ses principaux alliages). (*Conférence faite le 6 mars 1921 au Conservatoire national des Arts et Métiers*). In-12 (18 × 11) de 87 p., fig. Paris, Librairie de l'Enseignement technique, 1921. **Pièce 12616**

Dusaugey. — **L'aluminium et son application aux lignes électriques** (*Conférence faite le 22 mai 1920 à l'École supérieure des Postes et Télégraphes*). (*Annales des Postes, Télégraphes et Téléphones*). In-8 (24 × 16) de 50 p., 8 fig. Paris, L'Aluminium français, 12, rue Roquépine (8e), 1920. **Pièce 12617**

Dusaugey. — **Les conducteurs d'électricité en aluminium.** Rapport à la XVe Commission de l'Union des Syndicats de l'Électricité (juillet 1919). In-4 (27 × 22) de 26 p., avec tableaux. Paris, l'Aluminium français, 12, rue Roquépine (8e). **Pièce 12618**

Ranc (Albert). — **Les transformations de l'armée. Il faut créer un Conseil de la Mobilisation technique** (*Publications de Chimie et Industrie*). In-4 (27 × 21) de 8 p. Paris, Union des Syndicats d'Ingénieurs français, 13, avenue de la Grande-Armée. **Pièce 12619**

Royaume de Belgique. Ministère de l'Industrie, du Travail et du Ravitaillement. Administration des Mines et Inspection du Travail. — **La situation des industries belges en décembre 1920.** In-4 (27 × 21) de 77 p. Bruxelles, M. Weissenbruch, 1921. **Pièce 12620**

Colson. — **La situation actuelle de l'Association internationale des Chemins de fer.** In-8 (24 × 18) de 43 p. Bruxelles, 17, rue de Louvain, 1921. **Pièce 12621**

Barbet (Émile). — **Débouchés nouveaux pour les fruits à boisson. Pur jus concentré de raisin, de pomme, etc.** In-8 (24 × 16) de 24 p., 2 fig. Paris, chez l'auteur, 5, rue de l'Échelle (1er), 1921. **Pièce 12622**

Mager (Henri). — **Initiation à l'étude des vibrations de l'éther à l'aide des baguettes H. M.** In-8 (21 × 13) de 8 p. Paris, Office international de la Presse, 11, rue Bosio (16e), 1921. **Pièce 12623**

*
* *

Ministère de l'Agriculture. Direction générale des Eaux et Forêts. — **Annales** (*Forêts, Hydraulique, Améliorations et Météorologie agricoles*). Documents officiels, jurisprudence. Rapports et Notes techniques (France et Étranger). **Fasc. 48**, avec Atlas. Paris, Imprimerie nationale, 1915-1916. **Pér. 9**

Société française de Physique. — **Procès-verbaux et résumé des communications faites pendant l'année 1920.** Paris, 44, rue de Rennes (6e). **Pér. 36**

The Mineral Industry. — Vol. XXVIII, **1919.** New York, Mc Graw-Hill Book Company, 1920. **Pér. 198**

Association nationale d'Expansion économique. — **Indicateur de la production française.** 4e année, **1921.** Paris, 23, avenue de Messine (8e). **Pér. 90.**

Department of Scientific and Industrial Research. — **Fuel Research Board.** Technical Paper no 1 : *The Assay of Coal for Carbonisation Purposes : A new laboratory method*, by Thomas Gray and James G. King, 13 p., 2 fig., I pl. (1921). — **Food Investigation Board.** Special Report no 4 : *Interim Report on Methods of Freezing Fish with Special Reference to the Handling of Large Quantities in Gluts*, 50 p., 15 fig., IV pl. (1920). —

Special Report n° 6 : *The « Black Spot » of Chilled and Frozen Meat*, by F. T. BROOKS and M. N. KIDD, 6 p., I pl. (1921). London, 16-18 Old Queen Street, Westminster, S. W. 1. **Pér. 456**

INSTITUT D'ÉGYPTE. — **Bulletin**. Tome II. Session 1919-1920. Le Caire, 1920. **Pér. 32**

ASSOCIATION FRANCO-BELGE POUR L'ESSAI DES MATÉRIAUX. — **1er Procès-verbal, séance du 29 janvier 1921**. Paris, Revue des Matériaux de Construction et de Travaux publics, 148, boulevard Magenta. **Pér. 343**

COMITÉ DES TRAVAUX HISTORIQUES ET SCIENTIFIQUES. — **Comptes rendus du Congrès des Sociétés savantes de Paris et des départements, tenu à Strasbourg en 1920** Section des Sciences. Paris, Imprimerie nationale, 1920. **Pér. 26**

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE. — **Annuaire de 1921**. Paris, 19, rue Blanche (9e). **Pér. 313**

BUREAU OF STANDARDS (Washington). — **Technologic Papers**, n° **153** : *Area measurement of leather*, by F. J. SCHLINK, 47 p., 15 fig. (1920). — n° **157** : *An investigation of the physical properties of dental materials*, by W. H. SOUDER and C. G. PETERS, 40 p., 25 fig. (1920). — n° **159** : *Porosity and volume changes of clay fire bricks at furnace temperatures*, by G. A. LOMIS, 29 p., 3 fig. (1920). — n° **165** : *Enamels for sheet iron and steel*, by J. B. SHAW, 88 p., 14 fig. (1920). — n° **166** : *Laboratory wearing test to determine the relative wear resistance of sole leather at different depths throughout the thickness of a hide*, by R. W. HART, 7 p., 4 fig. (1920). — n° **169** : *Measurement of plasticity of mortars and plasters*, by W. E. EMLEY, 27 p., 8 fig. (1920). — n° **180** : *Causes and prevention of the formation of noncondensible gases in ammonia absorption refrigeration machines*, by E. C. MEKELOY and A. ISAACS, 10 p., 1 fig. (1920). — **Scientific Papers**, n° **369** : *Vapor pressure of ammonia*, by C. S. CRAGOE, C. H. MEYERS and C. S. TAYLOR, p. 1-34, 8 fig. (1920). — n° **373** : *Characteristics of striae in optical glass*, by T. T. SMITH, A. H. BENNETT and G. E. MERRITT, p. 75-91, 19 fig. (1920). — n° **377** : *Intercrystalline brittleness of lead*, by H.-S. RAWDON, p. 215-232, 11 fig. (1920). — n° **387** : *Permeability of rubber to gases*, by J.-D. EDWARDS and S. F. PICKERING, p. 327-362, 9 fig. (1920). — n° **392** : *A photographic method of detecting changes in a complicated group of objects*, by M. H. STILLMAN, p. 437-448, 9 fig. (1920). — n° **393** : *Measurements on the thermal dilatation of glass at high temperatures*, by C. G. PETERS and C. H. CRAGOE, p. 449-487, 21 fig. (1920). — **Circulars**, n° **30** (2d ed.) : *Lime : its properties and uses*, 25 p. (1920). — n° **95** : *Inks — their composition, manufacture and methods of testing*, 24 p. ; **Bibliography**, p. 24 (1920). **Pér. 61**

L'agent général, gérant,
E. LEMAIRE.

Coulommiers. — Imp. PAUL BRODARD.

CONFÉRENCES ET EXPOSITION PUBLIQUES

DES NOUVELLES APPLICATIONS INDUSTRIELLES

DE L'ALUMINIUM

DU MAGNÉSIUM, DU CALCIUM ET DU SODIUM

ORGANISÉES A PARIS

PAR

LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

DU 21 AU 29 MAI 1921

INTRODUCTION

La Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale a organisé dans son hôtel, 44, rue de Rennes, Paris (6e), du 21 au 29 mai 1921, en faveur de l'aluminium, du magnésium, du calcium et du sodium, une manifestation qui avait pour objet de faire connaître les progrès réalisés en ces dernières années dans la métallurgie et dans l'emploi de ces métaux, de leurs alliages et de leurs composés. Ces progrès ont été considérables pendant la guerre; il importait donc d'en informer les industriels appelés à en bénéficier et qui ne se doutent pas toujours des possibilités que leur offrent des métaux, aujourd'hui usuels mais qui, il y a moins de dix ans, étaient encore peu ou mal employés ou n'étaient guère plus que des curiosités de laboratoire. Le plus important des métaux visés par la manifestation, l'aluminium, est d'ailleurs un métal bien français, tant par les travaux originaux dont il a fait l'objet, que par sa fabrication et son minerai principal, la bauxite. Les minerais d'aluminium de France sont en effet, sinon les plus abondants du monde, du moins les meilleurs et les plus accessibles. Les chutes d'eau, nécessaires à la production économique de l'énergie électrique, abondamment consommée pour fabriquer l'aluminium, sont, elles aussi, nombreuses en France. Ces avantages assurent à notre pays une situation privilégiée dont il doit profiter. Il convenait donc que la Société d'Encouragement donnât son appui à une manifestation appelée à faire prospérer une industrie essentiellement française. Fidèle à ses traditions, aujourd'hui plus que centenaires, c'est ce qu'elle a fait.

La manifestation comprenait :

1° Une exposition publique, qui s'est tenue l'après-midi, dans l'hôtel de la Société, du 21 mai inclus au 29 mai inclus. Elle a été visitée par plus de 5.000 personnes. On trouvera le compte rendu détaillé, en même temps qu'un catalogue explicatif de cette exposition, rédigé par M. Guérin, à la page 957 du présent numéro;

2° Huit conférences, données l'après-midi, au cours de six séances, dans la grande salle de la Société d'Encouragement, pendant la durée de l'Exposition. Toutes ont été suivies par un auditoire nombreux qui avait peine à tenir dans la salle où elles ont été données. Voici la liste de ces conférences et les sujets traités :

Le samedi 21 mai 1921, à 17 h. — *L'industrie de l'aluminium et de ses alliages, leurs propriétés, leur élaboration, leur travail, leurs emplois*, par M. Léon Guillet, professeur au Conservatoire des Arts et Métiers et à l'École Centrale;

Le lundi 23 mai 1921, à 16 h. — 1° *Les emplois de l'aluminium en électricité*, par M. Dusaugey, Ingénieur civil des Mines; — 2° *Les emplois de l'aluminium dans l'appareillage électrique*, par M. Zetter, Ingénieur des Arts et Manufactures;

Le mardi 24 mai 1921, à 17 h. — *Le magnésium, le calcium et le sodium*, par M. Flusin, professeur à l'Université de Grenoble;

Le mercredi 25 mai 1921, à 16 h. — 1° *L'emploi de l'aluminium dans les industries de fermentation* (*brasserie, etc.*), *en laiterie, en fromagerie, etc.*, par M. Trillat, chef de laboratoire à l'Institut Pasteur; — 2° *L'emploi de l'aluminium dans les industries chimiques et les procédés de fabrication du matériel en aluminium* (*soudures, recouvrements, émaillage, métallisation, etc.*), par M. Guérin, ingénieur, chef des Laboratoires de l' « Aluminium français »;

Le jeudi 26 mai 1921, à 17 h. — *Les alliages légers et leur emploi en aéronautique*, par le lieutenant-colonel Grard, membre de la Commission de Contrôle aéronautique interalliée, à Berlin;

Le samedi 28 mai 1921, à 17 h. — *Les métaux légers dans la construction mécanique et en particulier dans l'industrie automobile*, par M. de Fleury, Ingénieur des Arts et Manufactures.

La première séance a été présidée par M. Drouets, directeur de la Propriété industrielle, représentant M. le Ministre du Commerce empêché; la séance du 26 mai a été présidée par M. Laurent-Eynac, sous-secrétaire d'État de l'Aéronautique et des Transports aériens. Les autres séances ont été présidées par M. L. Baclé, président de la Société d'Encouragement.

On trouvera à la page 991 le compte rendu détaillé de ces séances; ils renferment, notamment, le texte des discours et allocutions qui y ont été prononcés et un résumé des communications qui y ont été faites.

3° Trois conférences-promenades dans l'Exposition, qui ont eu lieu les 27, 28 et 29 mai, et qui étaient dirigées par M. Guérin et M. Guillet, deux des conférenciers.

Les communications faites par les conférenciers ont dû être écourtées faute de temps, et les documents qui ont été présentés aux auditeurs n'ayant pu être étudiés par eux à loisir, le Bureau de la Société d'Encouragement, d'accord avec sa Commission du Bulletin et les conférenciers, a pensé qu'il convenait de publier dans le *Bulletin* le texte des conférences complété par des annexes et des additions qui n'ont pu trouver place en séance, et de les accompagner de nombreuses figures. Il a été décidé également de consacrer un numéro spécial du *Bulletin* à la manifestation. C'est ainsi que, déjà, il avait été procédé l'année dernière, pour la manifestation relative aux machines à calculer, en vue de commémorer le centenaire de l'invention de Thomas, de Colmar. Le présent numéro est la réalisation de cette idée. On y trouvera :

1° Le texte des conférences, complété comme il est dit plus haut;

2° Le compte rendu détaillé et le catalogue explicatif de l'Exposition;

3° Le compte rendu des séances tenues du 21 au 28 mai 1921;

4° Une bibliographie relative à l'aluminium, établie par M. L. GUILLET;

5° Trois addenda relatifs à des résultats nouveaux concernant des alliages binaires d'aluminium qui n'ont été connus qu'au cours de l'impression du présent *Bulletin*.

Le présent numéro est donc à la fois une vue d'ensemble et un exposé très détaillé de l'état actuel de nos connaissances sur les métaux qui ont fait l'objet de la manifestation. La Société d'Encouragement a le ferme espoir que cette publication rendra les plus grands services aux industriels désireux de se mettre au courant de la question.

Historique et organisation de la manifestation. — L'initiative de la manifestation revient à M. LÉON GUILLET, membre du Comité des Arts chimiques de la Société d'Encouragement, qui en présenta l'idée pour la première fois dans la séance de ce Comité du 8 juin 1920. Cette idée fut approuvée par le Comité et M. Guillet, dans la séance du 9 novembre 1920, exposa verbalement un projet provisoire de la manifestation et en indiqua les grandes lignes. Le principe de ce projet fut approuvé : le Comité demanda à M. Guillet de rédiger un rapport plus détaillé pour sa prochaine séance. Ce rapport détaillé fut présenté le 14 décembre. Il prévoyait, vu l'ampleur que paraissait devoir prendre l'Exposition, vu aussi le nombre plus grand de conférences, six au lieu de quatre prévues tout d'abord, la création d'une Commission d'organisation qui devait être chargée d'étudier, d'accord avec le Bureau de la Société d'Encouragement, les modalités d'organisation et d'exécution de la manifestation.

Le rapport de M. Guillet fut approuvé par le Comité des Arts chimiques puis, le même mois, par le Bureau. La Commission d'organisation prévue était composée de :

M. BACLÉ, Ingénieur civil des Mines, président de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale, *président*;

M. BOYOUD, Ingénieur des Arts et Manufactures, directeur général de la Compagnie d'Alais et de la Camargue, membre correspondant de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale (Arts chimiques);

M. DE FLEURY, Ingénieur des Arts et Manufactures, ingénieur-constructeur et fondeur d'aluminium;

M. GALL, administrateur-délégué de la Société d'Électro-Chimie, membre du Conseil de la Société d'Encouragement (Arts chimiques);

M. GUIGNARD, directeur-général de la Société l'Aluminium français;

M. GUILLET, professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers et à l'École centrale des Arts et Manufactures, membre du Conseil de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale (Arts chimiques);

M. HENRY LE CHATELIER, membre de l'Institut, ancien président de la Société d'Encouragement et président de son Comité des Arts chimiques.

M. TRILLAT, chef de laboratoire à l'Institut Pasteur, membre du Conseil de la Société d'Encouragement (Arts chimiques);

M. ZETTER, Ingénieur des Arts et Manufactures, membre du Conseil de la Société d'Encouragement (Arts économiques);

M. GUÉRIN, ingénieur, chef des Laboratoires de la Société l'Aluminium français, *secrétaire*.

Cette commission, qui se réunit cinq fois, décida tout d'abord d'adjoindre à celle de l'aluminium, une exposition des métaux légers industriels : magnésium, calcium et sodium, et de demander à M. FLUSIN, professeur à l'Université de Grenoble, de faire une conférence sur ces métaux, leur fabrication et leurs alliages. Plus tard, il fut demandé au lieutenant-colonel GRARD de vouloir bien faire une conférence sur l'emploi des métaux légers et ultra-légers en aéronautique, ce qui porta à huit le nombre des conférences devant être données pendant la « Semaine de l'Aluminium ». La date de la manifestation fut fixée le 10 janvier 1921 et quelques jours après, par la voie de la presse, toutes les personnes connaissant une application industrielle des métaux prévus dans la manifestation furent invitées à en informer la Commission; en même temps, un appel fut envoyé aux industriels qui s'occupent de ces métaux, pour les inviter à prendre part à l'Exposition.

Il fut demandé à M. le Ministre du Commerce et à M. le Sous-Secrétaire d'État de l'Aéronautique de vouloir bien présider deux des séances au cours desquelles se feraient la première conférence et celle du colonel Grard. Ils voulurent bien accepter.

L'Exposition fut inaugurée, le 21 mai 1921, à 14 h., par M. DROUETS, représentant M. le Ministre du Commerce, retenu à Sarreguemines par des engagements antérieurs. Il présida la séance du même jour, au cours de laquelle fut donnée la première conférence.

C'est M. Guérin qui a assumé, avec l'aide de la Société l'Aluminium français, la lourde tâche d'organiser matériellement l'Exposition. C'est à lui qu'il convient d'adresser (1) toute demande de renseignements complémentaires sur les applications déjà réalisées de l'aluminium et des autres métaux ou celles que pourrait suggérer la lecture du présent *Bulletin*.

E. LEMAIRE,
Agent général de la Société d'Encouragement.

(1) Au siège de « L'aluminium français », 12, rue Roquépine, Paris (8e).

L'ALUMINIUM. SA FABRICATION, SES PROPRIÉTÉS, SES ALLIAGES, LEURS EMPLOIS (1)

par M. LÉON GUILLET,
Membre du Conseil.

MONSIEUR LE PRÉSIDENT, MESDAMES, MESSIEURS,

L'importante manifestation, que l'on inaugure aujourd'hui, a essentiellement pour but de mettre en vue les propriétés et les emplois de ce métal si français qu'est l'aluminium; français, de par sa situation économique; français, de par la découverte de ses procédés de fabrication, de par les études de ses principaux alliages, et enfin de par le développement de nos usines hydroélectriques.

Cette conférence doit faire ressortir, en se plaçant à un point de vue général, les caractéristiques du métal et de ses alliages, et leurs principaux emplois.

Toutefois, nous dirons quelques mots de la fabrication et de son historique.

Afin de ne pas alourdir cet entretien par des considérations trop scientifiques sur la constitution des alliages, nous rassemblerons les documents y ayant trait dans une annexe (2).

Nous diviserons donc cette conférence en quatre parties :

1° La fabrication de l'aluminium : historique et procédés;

2° La situation économique;

3° Les propriétés du métal et ses emplois;

4° Les alliages d'aluminium. Leurs propriétés et leurs emplois.

I. — Fabrication de l'aluminium.

Historique. — Nul ne conteste que, si Wöhler obtint le premier, en 1827, l'aluminium sous forme de poudre grise impalpable, en réduisant le chlo-

(1) Conférence faite en séance publique par l'auteur, le 21 mai 1921.

(2) Voir le présent numéro, p. 737. Voir aussi les addenda p. 1034.

rure de ce métal par le potassium, c'est au grand chimiste français, Henri Sainte-Claire Deville, que l'on doit le premier procédé de fabrication ayant permis d'envisager l'utilisation industrielle du métal.

En 1853, Sainte-Claire Deville réduisit par le sodium le chlorure d'aluminium, en présence d'un fondant, la cryolithe, produit naturel,



Fig. 1. — Henri Sainte-Claire Deville (1818-1881).

de formule $Al^2F^6 6NaF$. Pour cela, Deville dut créer la fabrication du sodium.

Ce fut là le seul procédé de fabrication de l'aluminium utilisé jusqu'en 1886.

Successivement, furent édifiées et développées les usines de Javel, de Nanterre, enfin celle de Salindres (Gard), berceau de la grande Compagnie d'Alais et de la Camargue, qui a pris une toute première place dans les industries chimique et métallurgique françaises.

D'autre part, il faut signaler que Sainte-Claire Deville fut le premier à montrer cette grande particularité de la métallurgie de l'aluminium, sur

laquelle nous insisterons plus loin, à savoir la nécessité d'obtenir du premier jet un métal de haute pureté et l'impossibilité d'affiner l'aluminium par les voies ordinaires.

Vers 1885, on se préoccupa des méthodes électriques, tandis que des essais poursuivis en Angleterre apportèrent quelques perfectionnements à la méthode chimique (action du sodium à température élevée sur un mélange de fluorure et de chlorure d'aluminium).

On cherche d'une part à réduire l'alumine par le carbone, en présence de certains métaux susceptibles de former des alliages; c'est ainsi que les frères Cowles fabriquent des cupro-aluminiums et des ferro-aluminiums, de 1886 à 1892, en Angleterre.



Fig. 2. — Paul-Louis-Toussaint Héroult (1863-1914).

Par un brevet pris le 23 avril 1886, Héroult, Ingénieur civil des Mines, fit connaître le procédé qui devait révolutionner la métallurgie de l'aluminium et qu'il avait étudié à l'usine de Froges (Isère). Comment fut-il conduit à s'occuper de la métallurgie de l'aluminium ? Très probablement par le fait suivant : Héroult, guidé par un parent du fondateur de l'usine de Salindres, fit une visite à cette usine et fut extrêmement frappé par les qualités du métal que l'on y fabriquait.

Le procédé Héroult est le seul actuellement employé dans le monde entier. Aussi notre Société, reconnaissant le rôle capital joué par ce grand ingénieur dans la métallurgie de l'aluminium et la fabrication de l'acier au four électrique, lui décerna-t-elle, en 1904, sur rapport de M. Henry Le Chatelier, sa grande médaille d'or annuelle, à l'effigie de Lavoisier.

La méthode d'Héroult consiste à électrolyser l'alumine dissoute dans un bain de cryolithe en fusion, la température nécessaire étant obtenue par le courant électrique, sans aucune source extérieure de chaleur.

Le 9 juillet 1886, l'Américain Hall déposait un brevet, qui fut accordé le

2 avril 1889, revendiquant l'électrolyse d'alumine dissoute dans un mélange de fluorures d'aluminium et de métaux alcalins et alcalino-terreux, auquel on ajoute des chlorures alcalins.

Peu de temps après la découverte de Héroult, vers 1887, Minet poursuivit des études intéressantes en vue d'électrolyser le fluorure d'aluminium, additionné de chlorures ou fluorures alcalins; ici il ne s'agit pas d'alumine mise en solution dans un sel.

Après quelques essais faits à Paris et à Creil, les recherches furent continuées à l'usine de Calypso, avec les concours des frères Bernard, père et oncle de l'auteur bien connu. Sans doute, ne furent-elles point inutiles à la mise au point définitive du procédé Héroult; mais elles n'aboutirent pas à détrôner l'autre méthode; l'intervention de l'alumine était reconnue nécessaire. Le procédé actuel prenait sa forme définitive.

Bien des réactions ont été indiquées comme devant servir de base dans l'électrométallurgie de l'aluminium. En réalité, nous croyons que trois procédés seulement ont été industriels.

1° Le procédé Héroult, le seul utilisé actuellement, sauf peut-être dans une usine des États-Unis qui emploierait encore le procédé Hall : l'alumine est dissoute dans la cryolithe;

2° Le procédé Hall, utilisant comme solvant de l'alumine un mélange de fluorure (il comportait 44 p. 100 de fluorure double d'aluminium et de sodium; 36 p. 100 de fluorure d'aluminium et 20 p. 100 de fluorure de calcium);

3° Le procédé Minet, qui électrolysait directement les fluorures d'aluminium additionnés de sels alcalins.

Méthode actuelle. — Le seul minerai utilisé est la bauxite, hydrate d'alumine impur, contenant de l'oxyde de fer, de la silice et de l'acide titanique; son nom est dû aux gisements du Pays de Baux, dans le Midi de la France, les premiers découverts. Le minerai tient généralement 60 p. 100 de Al^2O^3, rarement 70 p. 100.

Tout l'aluminium produit dans le monde est actuellement obtenu par une seule méthode, caractérisée par plusieurs points remarquables :

1° Elle participe de la voie humide et de la voie sèche;

2° Cette méthode comporte deux phases bien distinctes : la préparation de l'alumine pure; la décomposition par électrolyse de cette alumine mise en solution dans la cryolithe ($Al^2F^6 6NaF$) fondue.

Ces deux phases sont distinctes, non seulement par les procédés employés, mais aussi par les lieux où elles se passent :

La préparation de l'alumine pure a lieu en usine, située en un endroit

tel que minerai et charbon soient facilement accessibles et que les expéditions à l'usine d'électrolyse soient aisées;

L'électrolyse de l'alumine a lieu là où la production du courant permet un prix de revient bon marché, tout spécialement en pays de montagne;

3° Elle est l'une des rares métallurgies, où l'on doive chercher à obtenir de premier jet le métal pur. On ne peut, en effet, songer, par suite notamment de la chaleur de formation élevée de l'alumine, à utiliser les méthodes ordinaires d'affinage, spécialement l'oxydation. D'où la nécessité de purifier avant tout le minerai et d'avoir une alumine aussi pure que possible.



Fig. 3. — Vue générale de l'usine de Saint-Auban (Compagnie des Produits chimiques d'Alais et de la Camargue).

Le tableau suivant donne des analyses de minerai, d'alumine et d'aluminium représentant des chiffres moyens.

Analyse de bauxite :

$Al^2O^3 = 57,90$; $Fe^2O^3 = 24,10$; $SiO^2 = 2,35$; $TiO^2 = 4,00$; $H^2O = 11,65$.

Analyse d'alumine :

Perte au feu $= 0,48$; $SiO^2 = 0,08$; $Fe^2O^3 = 0,14$; $Na^2O = 0,28$;
Al^2O^3 (par différence) $= 99,02$.

Analyses d'aluminium :

Al = 98/99	Fe = 0,86	Si = 0,47
Al = 99/99,5	Fe = 0,44	Si = 0,35
Al = 99,5	Fe = 0,12	Si = 0,11

La purification de la bauxite se fait principalement par deux méthodes, celle de Deville, celle de Bayer, cette dernière étant plus généralement employée. On peut, en quelques mots, indiquer la différence entre les deux procédés.

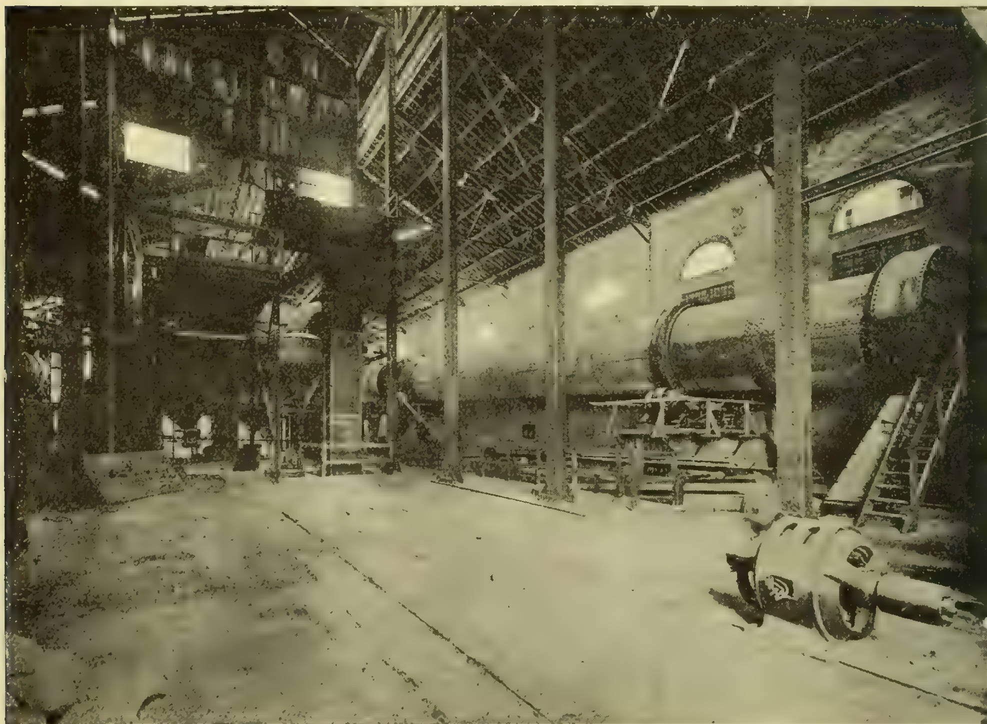


Fig. 4. — Four-séchoir à alumine (Usines de Salindres).

Tous deux ont pour principe d'amener l'alumine en solution aqueuse sous forme d'aluminate de sodium, ce qui permet de séparer la presque totalité des impuretés, notamment l'oxyde de fer et la silice; toutefois, il faut bien noter que cette dernière forme un silicate double d'aluminium et de sodium insoluble et que, de ce fait, la séparation de la silice entraîne une perte d'aluminium. Les bauxites blanches siliceuses donnent donc un rendement plus faible que les bauxites rouges, à même teneur en alumine.

La solution d'aluminate de sodium étant obtenue, on en précipite l'alumine. Mais, d'une part, la méthode de mise en solution, d'autre part, la méthode de précipitation de l'alumine diffèrent dans les deux cas.

Dans le procédé dû à Henri Sainte-Claire Deville, le minerai broyé est attaqué vers 1.200-1.500° par le carbonate de sodium; l'opération a lieu en four tournant. Le produit obtenu est lavé, après refroidissement, par une solution sodique; la liqueur est filtrée : le précipité, formé d'oxyde de fer est séparé; puis la liqueur est chauffée en autoclave : il se forme alors, sous pression, un précipité de silicate double d'aluminium et de sodium; enfin, l'alumine est précipitée de la solution d'aluminate de sodium par un courant d'acide carbonique, provenant d'un four à chaux. On obtient ainsi un hydrate d'alumine et une solution de carbonate de sodium qui peut, par concentration, donner le sel utilisé dans l'attaque primitive.

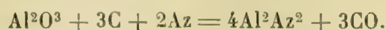
Dans le procédé de Bayer, le minerai concassé, parfois grillé à 700° pour détruire la matière organique, et broyé, est attaqué par une solution de soude (d = 1,45) dans un autoclave chauffé à la vapeur. L'opération se fait sous 5 à 6 atmosphères, à 150-160°, durant 2 à 3 heures. La filtration se fait comme dans la méthode de Deville; mais la précipitation de l'alumine de la solution d'aluminate de sodium a lieu simplement par addition d'hydrate d'alumine provenant d'une opération antérieure.

Cette réaction fort remarquable est due, d'après les recherches de Ditte, à l'introduction d'hydrate cristallisé : $Al^2O^3, 3H^2O$. Le précipité est filtré, lavé et calciné à 1.300°, ce qui donne une alumine plus dense et ne reprenant pas d'humidité au cours des transports et manipulations jusqu'à l'opération d'électrolyse.

Il faut encore indiquer deux autres procédés : celui de Péniakoff, employé dans les usines de Selzaete (Belgique) et Mennessis (Aisne), toutes deux détruites par les Allemands; la bauxite est attaquée par le sulfate de sodium; il se forme de l'aluminate et il se dégage de l'anhydride sulfurique. On lessive et on décompose par l'anhydride carbonique, d'où l'obtention de cristaux de soude comme sous-produit.

Le procédé utilisant la formation du nitrure d'aluminium n'est pas encore dans le domaine industriel, malgré les efforts tentés de différents côtés, notamment par la Compagnie d'Alais et de la Camargue, à son usine de Saint-Jean-de-Maurienne. Rappelons-en le principe.

Un courant d'air, ou mieux d'azote, passe sur un mélange d'alumine et de charbon porté à 1.500°. On a la réaction :



$$Al^2O^3 + 3C + 2Az = 4Al^2Az^2 + 3CO.$$

La masse ainsi obtenue est soumise en autoclave à l'action d'une solution de soude; il se forme une solution d'aluminate de sodium et du gaz ammoniac qui est absorbé, hors l'appareil, par l'acide sulfurique :



$$Al^2Az^2 + 6H^2O = Al^2(OH)^6 + 2AzH^3.$$

L'alumine se combine à la soude. La solution d'aluminate de sodium est décomposée par la méthode Bayer.

On a éprouvé les plus grandes difficultés pratiques pour réaliser le four nécessaire à la formation du nitrure : on a utilisé de grands fours tournants chauffés en certaines parties par des résistances électriques. Le rendement est faible, l'entretien des appareils très coûteux et fort délicat. Dans l'état actuel de la question, il ne paraît pas certain que le procédé au nitrure abaisse le prix de revient.

La seconde phase du procédé, celle de l'obtention de l'aluminium, utilise l'électrolyse ignée : dans un bain de cryolithe fondue, on verse l'alumine : le courant électrique continu produit la décomposition de cette alumine, sans atteindre la cryolithe, ou du moins il ne la décompose qu'en faible proportion si l'opération est bien conduite.

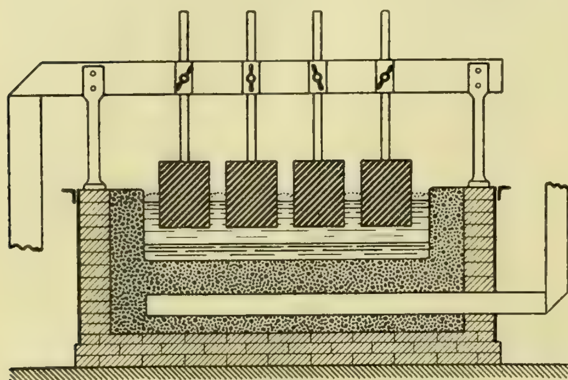


Fig. 5. — Cuve à aluminium à barres conductrices noyées dans le pisé (Gall).

L'appareil utilisé est le four électrique; les anodes sont constituées par du coke de pétrole aggloméré; elles trempent verticalement dans le bain; la cathode est formée par le fond de la cuve, constituée par un sommier d'acier recouvert de briques de carbone. Cette disposition est due au fait que l'aluminium liquide est plus dense que le bain de sel qui l'engendre (1).

La température de l'opération est de 800 à 900°; aucun chauffage extérieur n'est utilisé. M. Pascal a étudié la fusibilité des mélanges de sels et il a montré que la cryolithe fondant à 1.000°, l'addition de 5 p. 100 d'alumine abaisse le point de fusion à 915°. De plus, les additions de fondants augmentent la différence de densité de l'aluminium et du bain et facilitent le rassemblement du métal. En réalité, d'une usine à l'autre, on fait peu varier les proportions et même la nature des additions. Le mode opératoire tend de plus en plus à s'unifier.

En pratique, on fait en sorte qu'il y ait 10 p. 100 d'alumine en solution dans la cryolithe. Le courant utilisé est de 8 V environ; on emploie couram-

(1) Densité de l'aluminium : solide 2,70; liquide 2,54;
Densité du bain ordinaire : liquide 2,15 à 2,30.

ment des fours de 10.000 A, le nombre et la section des électrodes étant tels qu'il passe 2 A par centimètre carré de section.

La coulée de l'aluminium a lieu par intermittence, environ tous les deux jours. Elle se fait, soit en ouvrant le trou de coulée, qui se trouve au point



Fig. 6. — Usine de Saint-Jean-de-Maurienne (Savoie) : arrivée de la conduite forcée.

bas de la sole, soit en plaçant dans la cuve un cône réfractaire qui descend, à travers le sel jusqu'à la nappe métallique et permet de prendre celle-ci avec une cuiller.

Sans avoir l'imprudence de vouloir discuter, en ce moment de si grandes fluctuations de prix, un prix de revient, nous pouvons donner quelques chiffres intéressants :

Production par kilowatt-heure : 30 g (en théorie, 42 g).

Production par cuve et par 24 heures : 50 à 55 kg.

Par tonne d'aluminium, il faut : 2 t d'alumine; 1 t d'électrodes; 10 t de charbon; 1 t de soude; 1 t de produits divers. La fabrication d'une tonne d'aluminium met donc en jeu 15 t de matières.



Fig. 7. — Usine de Saint-Jean-de-Maurienne : conduite forcée de 3,30 m de diamètre à la traversée de l'Arc.

On peut ajouter qu'en pleine activité, les usines françaises consomment : 1.500 m² de toile de filtration par jour et 40 t de soude. Il faut donc que l'on sache bien qu'il ne suffit pas d'avoir à sa disposition des bauxites et des chutes d'eau pour fabriquer de l'aluminium et que les opérations comptent parmi les plus délicates de la métallurgie.

Recherche de procédés nouveaux. — Les efforts faits en vue de modifier ou de perfectionner les procédés de la métallurgie de l'aluminium ont été dirigés vers la simplification de l'obtention de l'alumine pure, ou surtout vers l'extraction de l'alumine de minéraux autres que la bauxite. Hall a établi une méthode directe de traitement de la bauxite qui, soumise dans un four à ferro-alliages, à l'action de carbone en quantité restreinte et proportionnelle aux impuretés, fait passer celles-ci à l'état de ferro, tandis que l'alu-

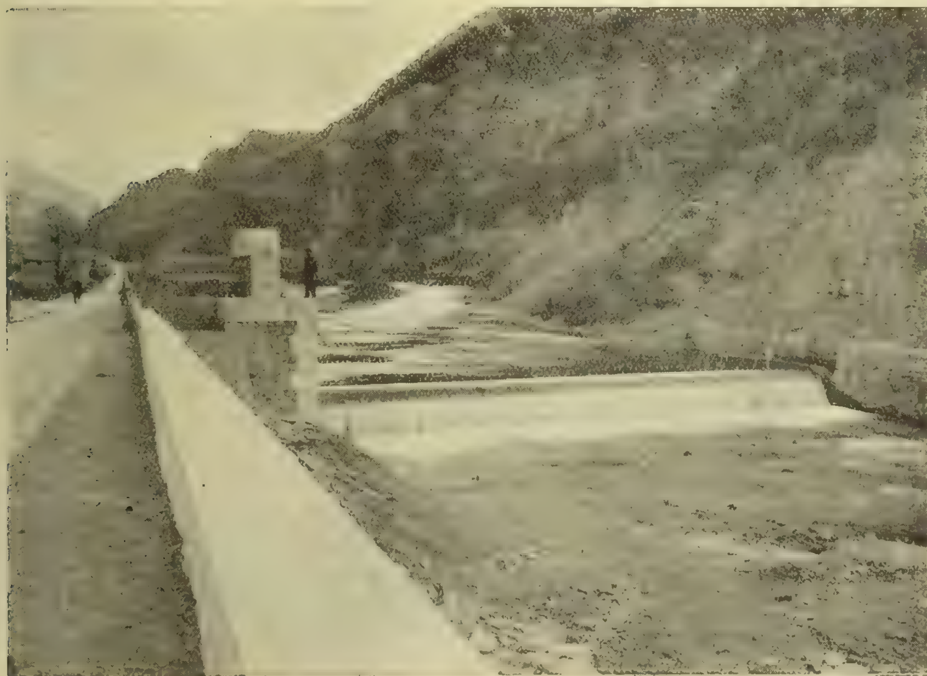


Fig. 8. — Barrage de prise d'eau de Saint-Jean-de-Maurienne.

mine surnage. L'alumine ainsi obtenue n'est pas assez pure; le procédé ne s'est pas développé.

L'alumine est, avec la silice, le corps le plus répandu dans la nature; de grands efforts ont donc été faits pour extraire l'alumine pure de produits plus communs que la bauxite, spécialement de l'argile. Ces efforts ont été multipliés en Allemagne, pendant la guerre, à un moment où les besoins d'aluminium avaient considérablement augmenté et où les principales sources de bauxites étaient fermées à nos ennemis. Les recherches faites n'ont pas encore abouti. On peut cependant les résumer en peu de mots.

On a cherché à obtenir la décomposition de l'argile par calcination au contact de carbonate de sodium et de carbonate de calcium : il se forme de l'alumine, du silicate de calcium et de l'anhydride carbonique. Les résultats

obtenus ne sont pas très encourageants : à 900°, température optima, on extrait 56 p. 100 de l'alumine contenue. Puis on a étudié un autre procédé, basé essentiellement sur la décomposition de l'argile par calcination, en présence d'un mélange de carbonates de calcium et de baryum, suivie d'un lessivage de l'aluminate de baryum formé. Ici, le résultat maximum est obtenu vers 1.150° ; mais le taux de l'extraction n'atteint pas toujours 60 p. 100. Ce procédé a été perfectionné en traitant l'argile par un excès de carbonate de baryum et en lavant le produit ainsi obtenu; il se forme alors de l'aluminate



Fig. 9. — Usine de Saint-Jean-de-Maurienne : Barrage.

et du silicate de baryum. En ajoutant un fondant, notamment du chlorure de sodium, le taux d'extraction atteint 64 p. 100 et l'alumine obtenue ne contient pas plus de 3 p. 100 de silice. Tous ces procédés étudiés à l'École technique supérieure Frédériciana de Karlsruhe (Bavière), durant la guerre, n'ont pas conduit à des résultats pratiques (1).

II. — Situation économique de la métallurgie de l'aluminium.

Mouvement des bauxites avant la guerre. — Jusqu'en 1914, il n'y avait guère que deux centres de production de bauxites dans le monde entier : la France et les États-Unis, et encore, ceux-ci ne faisaient-ils que commencer

(1) *Revue de Métallurgie*, 1920. Mémoires, p. 516. Traduction de M. Barrand.

l'exploitation de leurs gisements. Le tableau suivant donne la production pour les dernières années d'avant-guerre :

Bauxite extraite dans les principaux pays producteurs avant la guerre (en tonnes).

Années.	États-Unis.	France.	Angleterre.	Italie.
1910	152.070	196.056	4.208	»
1911	158.107	254.831	6.103	»
1912	162.685	258.929	5.882	»
1913	213.605	309.294	6.153	6.952

Voici quelques consommations intéressantes pour 1913.

Importations, exportations et consommation en bauxite des principaux pays en 1913 (en tonnes).

Pays.	Importations.	Exportations.	Consommation.
États-Unis	21.800	»	233.405
France	873	168.439	141.720
Angleterre	62.660	»	58.813
Allemagne	38.452	»	»

Voici pour 1913 la répartition de notre extraction.

Bauxite extraite en France en 1913.

Départements.	Tonnes.	Proportion centésimale.
Var	258.074	83,4
Hérault	43.800	14,2
Bouches-du-Rhône	4.270	1,4
Ariège	3.150	1,0
Total	309.294	100,0

Cette production très élevée nous a conduits à une forte exportation dont il est intéressant de noter la destination.

Importations et exportations de bauxite pour la France en 1913 (en tonnes).

IMPORTATIONS

Provenance.	Quantités.
Belgique	439
Indes	434
Total	873

EXPORTATIONS

Destination.	Quantités.
Pays-Bas	51.333
Allemagne	31.156
Angleterre	49.695
Belgique	10.980
États-Unis	12.173
Suisse	1.823
Divers	11.279
Total	168.439

Importations et exportations d'alumine en France en 1913 (en tonnes).

IMPORTATIONS		EXPORTATIONS	
Provenance.	Quantités.	Destination.	Quantités.
Pays divers	2	Suisse	5.960
		Pays divers	1.523
Total	2	Total	7.483

On voit que 65 p. 100 de notre production allaient à l'étranger et que la moitié de nos exportations étaient dirigées, directement ou indirectement vers l'Allemagne. De plus, nous exportions 7.483 t d'alumine, dont près de 80 p. 100 alimentaient les usines suisses.

Il est intéressant de noter les importations de bauxite faites par l'Allemagne avant la guerre (1) :

Importations de bauxite en Allemagne avant la guerre.

Années.	Importations totales.	PROVENANCE FRANÇAISE Tonnage.	Fraction centésimale du total importé.
	Tonnes.	Tonnes.	
1910	56.287	54.513	96,8
1911	37.155	35.762	96,2
1912	36.448	34.297	94,1
1913	38.452	36.490	94,9

D'autre part, voici ce que nous fournissions en bauxites :

1° A la Grande-Bretagne :

En 1910	22.966 t
— 1911	40.621 t
— 1912	37.240 t
— 1913	49.695 t

2° Aux États-Unis :

En 1910	14.465 t
— 1911	33.189 t
— 1912	15.240 t
— 1913	12.173 t

On sent bien ici, la décroissance de nos fournitures provenant de l'exploitation de nouveaux gisements en Amérique.

En résumé, nous étions les principaux fournisseurs de bauxite du monde, tout particulièrement de l'Allemagne. L'alumine était surtout exportée vers

(1) Chambre de Commerce de Toulon et du Var, rapport de M. A. de Keppen. Le nombre pour 1913 diffère un peu de celui des douanes françaises.

la Suisse pour alimenter directement les usines d'aluminium, lesquelles, d'ailleurs, fournissaient ce métal à l'Allemagne.

INFLUENCE DE LA GUERRE SUR LA SITUATION DES BAUXITES. — La production de bauxite en *France* a été la suivante pendant les hostilités :

Production de bauxite en France pendant la guerre (en tonnes).

Années.	Bauxite pour aluminium.	Bauxite pour autres usages.	Total.
1915	37.894	16.628	56.522
1916	68.866	37.334	106.200
1917	101.748	19.168	120.916

On voit que pendant la guerre la production a atteint seulement le tiers de la production du temps de paix et est même restée inférieure à la consommation de 1913. Mais la guerre a créé des besoins d'aluminium tels que la plupart des nations belligérantes ont cherché de nouveaux centres miniers; cette question mérite que nous nous y arrêtions.

Les *États-Unis* ont continué l'exploitation de leurs gisements de l'Alabama, de l'Arkansas — ce dernier fournissant 80 p. 100 de la bauxite utilisée aux États-Unis — et de Georgie. Dans le Tennessee et la Caroline du Nord, on a ouvert de nouvelles mines.

Il a été extrait :

En 1915	297.041 t	de bauxite.
— 1916	425.359 t	—
— 1917	568 690 t	—

En outre, les États-Unis se sont intéressés à l'exploitation des gisements des Guyanes anglaise et hollandaise.

L'*Angleterre* ne trouve chez elle que des quantités très faibles de bauxite provenant de mines d'Irlande, du comté d'Antrim particulièrement, exploitées par l'Aluminium Corporation et la British Aluminium C°. Elle a continué a faire venir des quantités très importantes de bauxite du Var.

SITUATION DE L'ALUMINIUM AVANT LA GUERRE. — *Situation mondiale.* — De 1900 à 1913, la situation économique de la métallurgie de l'aluminium s'est complètement transformée. Depuis 1900, la production mondiale a été multipliée par 8,8; le rôle de la France a été primordial dans cette augmentation de production : en 1900, les *États-Unis* produisaient 41,5 p. 100 de la production mondiale et, en 1913, 33,0 p. 100; la *France* donnait 19,2 p. 100 en



Fig. 10. — Vue générale des usines de Calypso.

1900 et 26,4 p. 100 en 1913; la *Suisse* 32,1 p. 100 en 1900, et 17,6 p. 100 en 1913; l'*Angleterre* 7,2 p. 100 en 1900; 11,0 p. 100 en 1913.

En 1915, elle a produit 11.914 t de bauxite et elle en a reçu la même

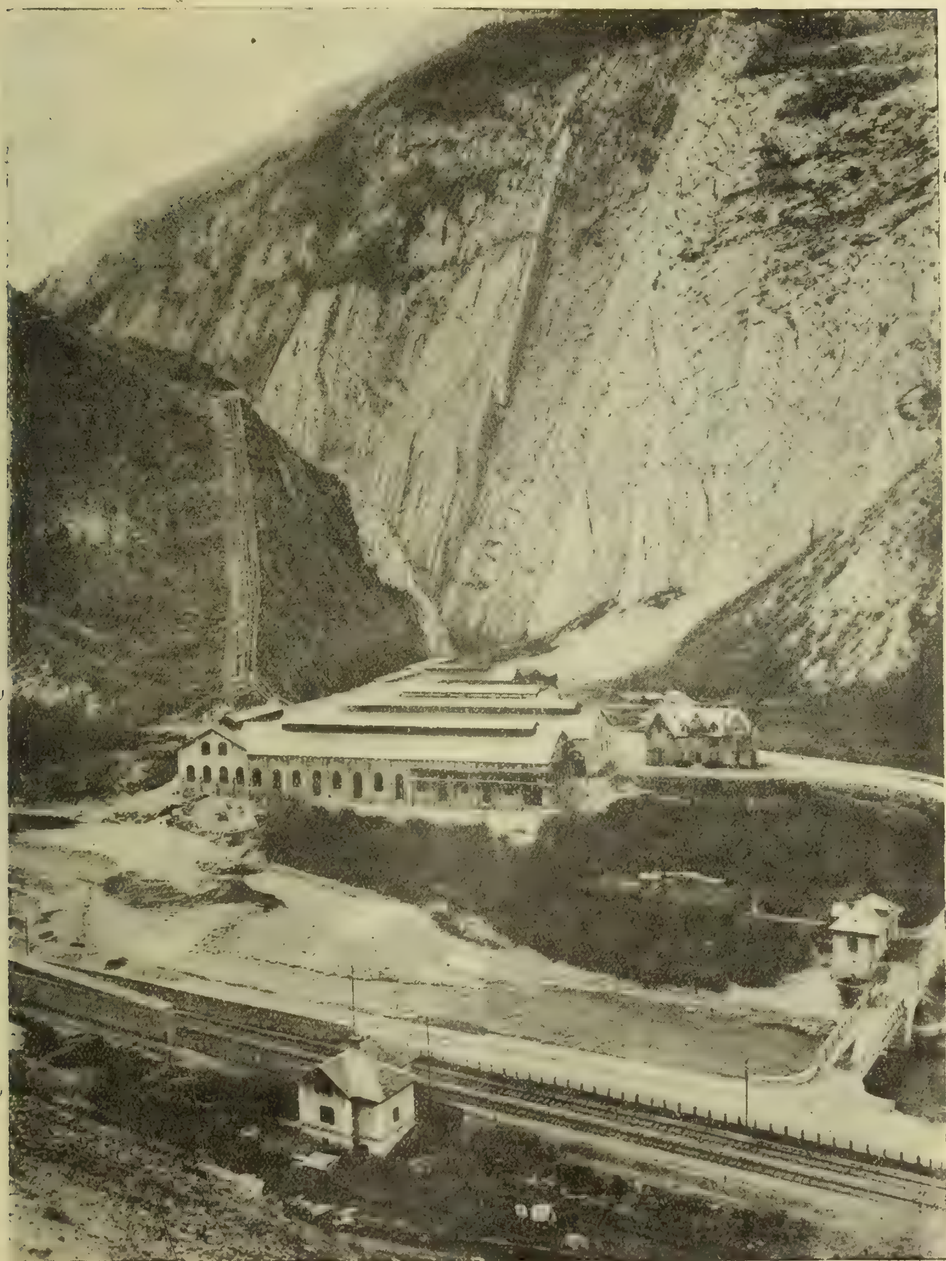


Fig. 11. — Usines de Calypso : ateliers de fabrication.

année, de France, 35.969 t. En 1917, sa production a atteint 14.950 t. Il se peut, d'ailleurs, qu'un changement survienne dans la fabrication de l'aluminium en Angleterre, à la suite de la découverte de gisements en Guyane anglaise, où se trouvent d'importantes chutes d'eau.

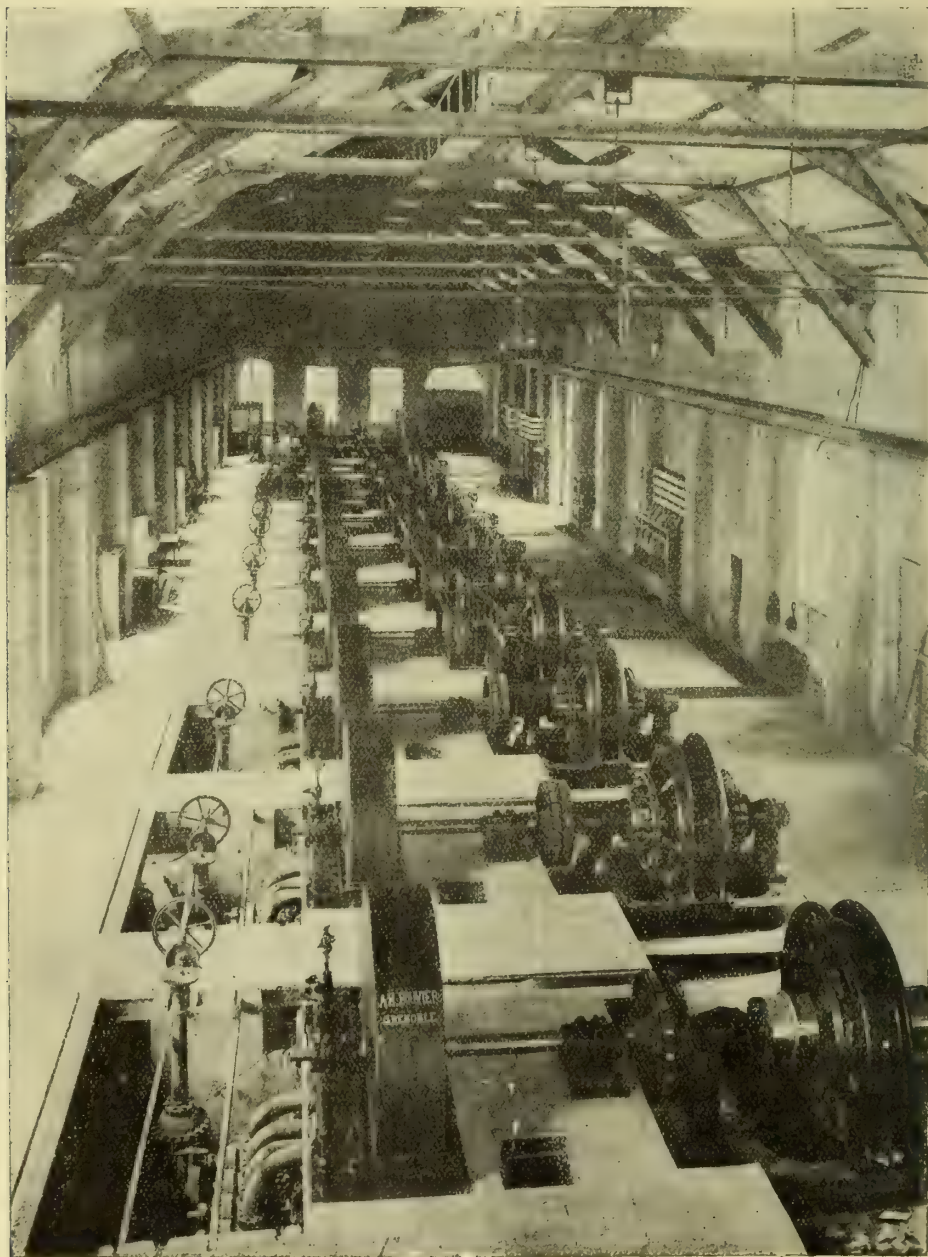


Fig. 12. — Usines de Calypso : partie de la salle des machines.

En *Italie*, les usines utilisent des bauxites indigènes et des bauxites françaises, la production des mines italiennes ne dépassant guère 7.000 à 8.000 t.

Des gisements ont été découverts en *Espagne*, dans la province de Barcelone ; on les dit déjà concédés à une société allemande.

L'*Allemagne*, avant guerre, n'exploitait que des gisements insignifiants dans le Hesse-Nassau ; c'était la bauxite française qui était sa matière première. Depuis la guerre, elle a mis en exploitation des gisements situés près de Francfort-sur-le-Mein.

Quant à l'*Autriche-Hongrie*, au moment même de la déclaration de guerre, elle s'apprêtait à exploiter des gisements que l'on venait de découvrir. Des gisements très importants que l'on estime à plus de 20 millions



Fig. 13. — Usine de Saint-Jean-de-Maurienne : Barrage.

de tonnes se trouvent en Hongrie, dans les Siebenbergen. Une usine traite le minerai sur place. Bien d'autres mines sont en exploitation, ou vont y entrer : en *Dalmatie*, en *Herzégovine*, en *Istrie*, en *Croatie*. Toutefois, il semble bien que la plupart de ces minerais soient de qualité nettement inférieure aux bauxites françaises.

Enfin, il faut ajouter que les gisements de l'Inde, que l'on vient d'étudier, sont les plus importants du monde entier; ils sont d'excellente qualité, mais se trouvent à 600 km de la côte.

La situation en 1913 était la suivante (1) :

1) D'après les statistiques de la Metallgesellschaft, sauf pour la France pour laquelle on a adopté les chiffres de la Statistique de l'Industrie minérale.

Production mondiale de l'aluminium en 1913.

Pays.	Production (tonnes).	Pourcentage.
États-Unis	22.500	35,4
France	13.500	21,2
Suisse	12.000	18,8
Grande-Bretagne	7.500	11,8
Canada	5.900	9,2
Norvège	1.500	2,3
Italie	800	1,3
Total	63.700	100,0



Fig. 14. — Vue générale de l'usine de La Praz.

Situation française. — La production française a été de 13.500 t en 1913. Les usines sont généralement au voisinage des chutes d'eau. Elle s'est répartie de la façon suivante :

Production française de l'aluminium en 1913.

Départements.	Production (tonnes).	Pourcentage.
Savoie	8.683	64,5
Hautes-Alpes	2.600	19,2
Ariège	1.300	9,6
Haute-Savoie	900	6,7
Total	13.483	100,0

Les usines françaises étaient alimentées en alumine avant la guerre par cinq ateliers traitant la bauxite : à Gardanne, près d'Aix; à Salindres (Gard); à Barasse, près de Marseille; à Mennessis (Aisne) et à Selzaete (Belgique); au cours de la guerre, les usines de Mennessis et de Selzaete ont été complètement détruites par les armées allemandes : par contre, une nouvelle usine d'alumine a été construite à Saint-Auban (Basses-Alpes) (fig. 3).

Nous étions fortement exportateurs de métal brut ou laminé. Voici pour 1913 les statistiques officielles :

Importations et exportations françaises de lingots et de déchets d'aluminium en 1913 (en tonnes).

IMPORTATIONS		EXPORTATIONS	
Provenance.	Quantités.	Destination.	Quantités.
	Sensiblement nulles.	Allemagne	1.023
		États-Unis	827
		Suisse	359
		Belgique	224
		Grande-Bretagne	140
		Italie	100
		Divers	265
Total	»	Total	2.938

Importations et exportations françaises d'aluminium battu, étiré, laminé, filé ou en poudre en 1913 (en tonnes).

IMPORTATIONS		EXPORTATIONS	
Provenance.	Quantités.	Destination.	Quantités.
Allemagne	60	Allemagne	681
Suisse	12	Belgique	165
Grande-Bretagne	11	Suisse	225
		Grande-Bretagne	165
		États-Unis	153
		Divers	188
Total	83	Total	1.577

Ces chiffres ne coïncident pas avec ceux de la Metallgesellschaft donnés plus loin : il paraît plus vraisemblable d'admettre que le chiffre des exportations d'aluminium en lingots ou déchets a atteint 5.000 t environ dont 3.000 t pour l'Allemagne.

Nos exportations en lingots et déchets allaient donc principalement vers l'Allemagne (3.000 t) et les États-Unis (1.000 t). Nous exportions au total 6.500 t d'aluminium par an, soit environ la moitié de notre production. Il est de plus à remarquer que si nous n'importions aucune quantité de

métal brut, du moins laissions-nous entrer près de 100 t de métal battu ou laminé, provenant surtout d'Allemagne, et cela, sans parler des objets en aluminium, destinés à tous les bazars : couverts, coquetiers, ronds de serviettes, etc., de provenance entièrement germanique.

En 1913, il est entré, suivant les statistiques douanières, 237 t d'ouvrages en aluminium autres que la bijouterie, et nous en avons exporté 179 t. On voit que le développement de l'industrie de l'aluminium et de ses transformations peut largement se produire en notre pays. D'ailleurs, on peut donner quelques indications précises sur les importations de l'Allemagne. Les voici, pour les dernières années (aluminium brut et déchets (1) :

Importations d'aluminium en Allemagne avant la guerre (en tonnes).

Provenance.	1910	1911	1912	1913
Importations totales	9.982	10.454	18.112	15.323
Dont de provenance française	3.892	2.893	8.388	4.165
— suisse	3.95	3.431	8.018	6.064
— autrichienne	1.639	1.561	2.361	1.257
— anglaise	651	1.285	1.686	1.809
— italienne	103	255	159	11
— norvégienne	164	521	297	741
— américaine	432	357	1.546	837

Les modifications apportées par la guerre dans la situation de l'aluminium. — *Au point de vue économique.* — D'après les dernières statistiques (2), la production mondiale de l'aluminium pendant la guerre serait devenue la suivante, en 1917 :

États-Unis	90.700 t
France	20.000 t
Suisse	15.000 t
Grande-Bretagne	6.000 t
Canada	14.300 t
Norvège	18.000 t
Italie	7.000 t
Autriche	5.000 t
Total	176.000 t

Notons les rapides progrès de la production mondiale qui est passée, d'après *Mineral Industry*, de 78.790 t en 1913 (le chiffre de 63.700 t précédemment donné à la page 702 est celui de la Metallgesellschaft) à 84.857 t en 1914; 86.394 t en 1915; 112.626 t en 1916 et 176.000 t en 1917.

Ces chiffres nous semblent d'ailleurs excessifs et il est plus probable que

(1) D'après Metallgesellschaft.
(2) *Mineral Industry*, 1917.

la production mondiale en 1917 a été de 130.000 t environ, réparties de la façon suivante :



Fig. 15. — Vue générale de l'usine de Saint-Jean-de-Maurienne.

États-Unis	70.000 t	en 1917.
France	12.000 t	—
Suisse	12.000 t	—
Grande-Bretagne	6.000 t	—
Canada	12.000 t	—
Norvège	8.000 t	—
Italie	5.000 t	—
Autriche	5.000 t	—
Total	130.000 t	—

On voit donc les modifications extraordinaires survenues dans cette

industrie. La totalité des usines prévues aux *États-Unis* permettrait, avec les firmes actuelles, de produire 225.000 t d'aluminium par an. Toutefois, il faut bien noter que l'on est encore bien loin de ce chiffre.

La *Norvège*, qui possédait avant la guerre trois usines, celle d'Arendal à la Société norvégienne des Nitrures, celles de Vigeland et de Standfjord à la British Aluminium C°, a vu construire deux nouveaux centres de production, l'un à la Société norvégienne des Nitrures, à Tyssedal, et l'autre à Hoyangsffeldenfjord. De ce fait, la production peut atteindre 16.000 t.

En *Suisse*, deux groupes d'usines, à Neuhausen près Schaffouse, et à Chippis (Valais), disposent de 75.000 ch et peuvent produire environ 15.000 t de métal.

A cela, on peut ajouter quelques détails sur la situation de l'*Allemagne* durant la guerre. Pendant quelque temps, nos bauxites alimentèrent l'Allemagne par l'intermédiaire de la Suisse. Il est sorti ainsi en Suisse, de août 1914 à fin 1916, environ plus de 20.000 t d'aluminium qui, il faut bien le dire, nous sont revenues sous forme de fusées, avions, zeppelins, etc.

Puis, les bauxites découvertes en Dalmatie permirent aux usines suisses de se développer; enfin, d'autres exploitations furent ouvertes près de Francfort et en Hongrie; tous ces minerais sont nettement inférieurs à ceux qui sont extraits de notre sol.

Trois usines d'aluminium furent mises en route, à Knappsack près Cologne, à Bitterfeld et à Niederlausitz, susceptibles à elles trois de fournir 45.000 t de métal; ces trois usines produisaient la force électrique nécessaire au moyen de lignites. Mais rien ne permet d'affirmer que, hors l'état de guerre, ces usines obtiennent un prix de revient permettant la lutte contre l'aluminium hydro-électrique.

Il paraît enfin intéressant de rappeler l'influence considérable des méthodes d'électrolyse et de leur progrès sur le prix de l'aluminium :

Prix du kilogramme d'aluminium (en francs).

En :	1865	1883	1886	1890	1893	1895	1900	1905	1909
Prix :	1.250	100	78	19	6,25	3,75	2,50	4,35	1,70

III. — Les propriétés de l'aluminium et ses emplois.

Propriétés physiques. — Le tableau suivant résume les données les plus récentes sur les propriétés physiques des principaux métaux (les chiffres entre parenthèses indiquent les températures de détermination).

Métaux	Point de fusion	Densité	Dilatation $\times 10^5$	Conductibilité électrique $\times 10^4$	Pouvoir thermo-électrique par rapport à Pt à 100°	Potentiels électrolytiques entre 18° et 25° (en volts)	Chaleur spécifique	Conductibilité thermique
Al	**658**	**2,68**	**2,31**	**39** (0°)	+ **0,38**	**1,276**	**0,2173** (17° à 100°)	**0,501**
Sb	630	6,62	**11,6**	2,30 (18°)	+ 4,70	— 0,47	0,0503 —	0,042
Ag	960	10,50	1,92	**61** (18°)	+ 0,73	— 0,80	0.0560 —	**0,963**
Bi	271	9,80	1,34	0,82 (18°)	— 7	**2,75**	0,0303 —	0,019
Cd	321	8,64	**3,07**	14,40 (0°)	+ 0,90	0,35	0,0515 (— 188° à + 20°)	0,221
Cr	1.505	6,50	—	—	—	—	0,1102 (17° à 100°)	—
Co	1.490	8,60	1,236	10,3 (20°)	— 1,52	0,29	0,1030 —	—
Cu	1.083	8,93	1,678	**58,68** (25°)	+ 0,76	— 0,34	0,0925 —	**0,853**
Sn (blanc).	232	7,28	**2,234**	8,30 (18°)	+ 0,41	0.10	0,0556 —	0,103
Fe	1.520	7,86	1,210	7,50 (20°)	+ **3,09**	0,43	0,1098 —	0,154
Mg	651	**1,74**	**2,694**	23 (0°)	+ **0,40**	**1,55**	**0,2475** —	0,376
Mn	1.225	7,39	—	—	—	1,097	0,0931 (de — 188° à + 20°)	—
Hg	—38,7	13,55	**18,09**	1,06 (0°)	+ 0,00	0,86	0,0333 (+ 18°)	0,021
Mo	2.500	8.60	—	—	-	—	0,0555 (de — 188° à + 20°)	—
Ni	1.452	8,90	1,279	14,42 (0°)		0,22	0,1092 (de 17° à 100°)	0,126
Au	1.083	19,32	1,443	**47,52** (0°)	+ **0,74**	1,50	0,0309 —	**0,746**
Pt	1.755	21,16	0,899	10,70 (20°)	+ 0,00	0,86	0,0279 (de — 188° à + 20°)	0,166
Pb	327	11,37	**2,924**	4,82 (18°)	+ **0,41**	0,12	0,0310 (de 17° à 100°)	0,083
Si	2.300	3,98	—	—	—	—	0,1125 (de 0° à 100°)	—
W	3.100	16,60	—	—	—	—	0,0336 —	—
Va	1.730	5,50	—	—	—	—	0,1153 (de 0° à 98°)	—
Zn	419	7,10	**2,918**	17,60 (0°)	+ **0,74**	0,76	0,0934 (de 17° à 100°)	0,265

Ce tableau met en vue les points suivants :

1° L'aluminium fond à une température assez basse (658°);

2° Il possède une densité très faible ; seul, parmi les métaux assez courants, le magnésium possède une densité moins élevée. Il faut cependant signaler un métal qui deviendra peut-être un jour industriel, le *glucinium*, que l'on cherche à extraire de l'émeraude et dont la densité n'atteint pas 1,7 tandis que son point de fusion dépasse 1.000° ;

3° L'aluminium possède un coefficient de dilatation et une conductibilité électrique très élevés. Son potentiel électrolytique est de haute valeur; sa chaleur spécifique n'est dépassée que par celle du magnésium; sa conductibilité thermique n'est surpassée que par l'argent, le cuivre et l'or.

Propriétés mécaniques. — Nous donnons comparativement les propriétés

mécaniques des principaux métaux industriels, à l'état laminé et recuit : (traction sur éprouvette ronde de 13,8 mm de diamètre et 100 mm de longueur utile; résilience sur éprouvette de 10 × 10 × 55 mm, avec entaille de 2 × 2 mm à fond rond).

	ESSAI DE TRACTION		ESSAI DE CHOC
	R	A p. 100.	Résilience ρ.
Al	9	30	9,2 (pliée)
Ag	12	20	
Cu	22	50	30 (pliée)
Sn	8	—	
Fe	30	40	30 (pliée)
Mg	14	20	—
Ni	50	40	25 (pliée)
Au	11	30	—
Pt	25	10	—
Pb	3	—	
Zn	20,6	30,8	2,5

On voit que :

L'aluminium n'a pas en lui-même de propriétés mécaniques très remarquables, mais il faut tenir compte de sa faible densité et surtout du traitement, dont nous verrons plus loin l'influence considérable. Ces essais, d'ailleurs, caractérisent de façon incomplète la valeur d'un métal. Des essais aux chocs répétés (machine de Cambridge) ont été faits dans les conditions suivantes : hauteurs de chute, 33 mm; nombre de coups à la minute, 60. Nous donnons l'ensemble des résultats, y compris ceux relatifs aux alliages.

	CARACTÉRISTIQUES						Essais aux chocs répétés.
	Essai de traction.				Essai de choc sur barreau entaillé.		
Métal utilisé.	R	E	A p. 100.	Σ	Résilience ρ.	Angle.	Nombre de coups.
Aluminium commercial I	9,8	6,5	26,4	66,8	9,2	(pliée)	93
— II	9,8	5,4	27,9	65,5	9,2	—	107
Duralumin traité	36,5	15,1	17,6	32,9	2,8	167°	97
— recuit	23,1	11	17,6	36,3	3,9	150°	147
Laiton : Cu = 81, Zn = 19; étiré.	36,6	30,2	36	68	10,6	155°	932
— recuit.	29,7	8,7	54,4	76,0	19,0	(pliée)	598
Laiton : Cu = 60, Zn = 38, Pb = 2; étiré	47,3	39,6	20,5	49,7	4,7	165°	815
Laiton : Cu = 60, Zn = 38, Pb = 2; recuit.	38,8	12,3	47,7	56,6	7,3	145°	322
Bronze d'aluminium : Cu = 90, Al = 10; coulé.	65,4	48,2	4,4	6,2	1,0	178°	71
Bronze d'aluminium : Cu = 90 Al = 10; recuit.	32,4	16	8,8	10,3	5,9	154°	1.147

Métal utilisé.	Caractéristiques — Essai de traction. R	E	A p. 100.	Σ	Essais de choc sur barreau entaillé — Résilience. ρ.	Angle.	Essais aux chocs répétés. — Nombre de coups.
Bronze : Cu = 84, Sn = 16 coulé.	20,3	15,8	2,2	4,2	0,5	177°	11
— recuit.	22	17,4	1,4	2,1	0,6	168°	14
Bronze : Cu = 88, Sn = 12 coulé.	29,5	12,9	27,2	33,6	3,6	165°	363
— recuit.	26,3	13,8	23,5	23,9	6,8	150°	785
Acier extra-doux recuit 900° . .	35	20	33	59	8	—	1.164
— trempé 900° . .	62	43	19	63	25	—	6.852
Acier demi-dur, recuit 850° . .	58,5	33	24	45	6	—	1.265
— trempé 850° sans revenu	115	80	3	28,5	9	—	14
Acier demi-dur, trempé 850°, revenu 700°	73	57	20	65	16	—	6.634

On voit que :

a) L'aluminium et le duralumin ne possèdent pas une résistance élevée aux chocs répétés dans les conditions de nos essais, ce qui s'explique par la basse limite élastique;

b) Le bronze d'aluminium coulé et recuit a une résistance remarquable, surtout pour un métal coulé;

c) Un métal écroui a généralement une résistance aux chocs répétés plus élevée que le même métal recuit. Cela provient de la limite élastique élevée et cela corrobore ce que nous avons récemment indiqué pour les aciers traités. Ce point est tellement capital que nous poursuivons de nouvelles recherches à ce sujet.

Influence de la température. — Les courbes des figures 16 et 17 reproduisent quelques résultats comparatifs donnant l'influence des températures sur la charge de rupture et les allongements à la traction de l'aluminium et de quelques autres métaux. On voit que la charge de rupture de l'aluminium diminue très nettement avec la température et qu'à partir de 400° sa valeur est extrêmement faible, inférieure à 2 kg : mm². D'autre part, les allongements croissent avec la température, de façon lente jusqu'à 350°, de façon très rapide entre 300° et 400°, pour baisser subitement entre 600° et le point de fusion. Ces résultats sont dus à Bengough (1912) (1). De là on peut déjà déduire que le laminage se fera aisément entre 400° et 500°.

Il serait intéressant d'être fixé sur la variation des propriétés aux basses températures qui peuvent jouer spécialement dans l'utilisation en aéronautique et même dans les industries alimentaires. Nous venons d'entre-

(1) *Journal of the Institute of Metals*, 1912, n° 2.

prendre, M. Jean Cournot et moi-même, une série de déterminations sur ce sujet; les premiers résultats obtenus sur éprouvettes placées dans l'air liquide, pendant 60 heures, n'ont accusé aucun abaissement de la résilience.

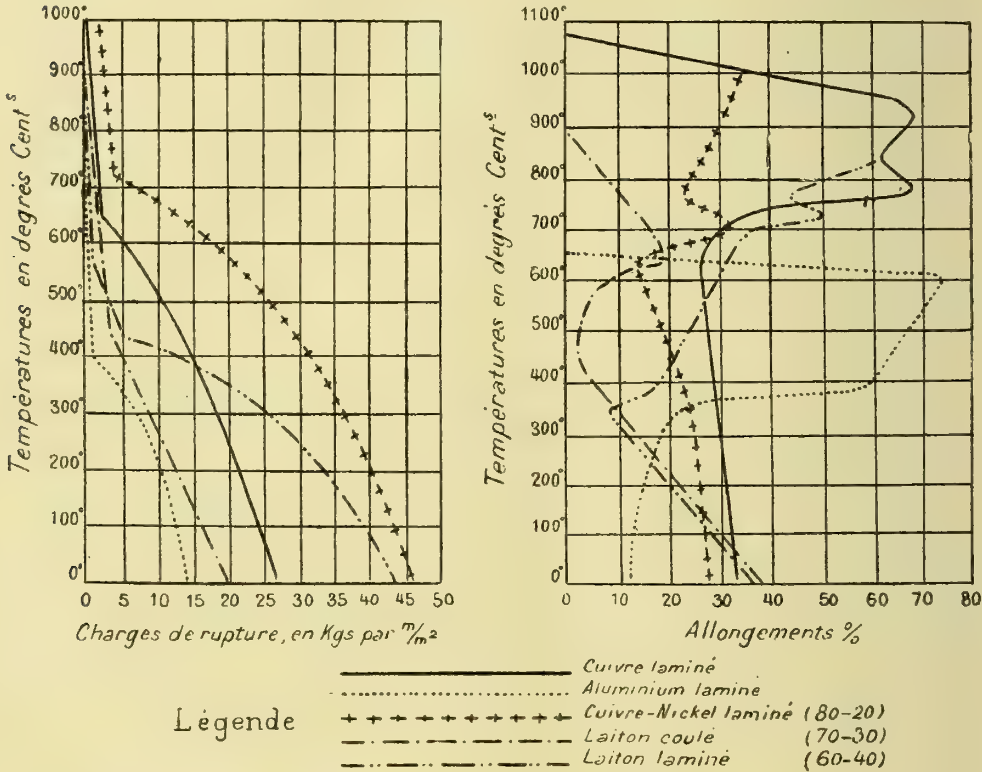


Fig. 16 et 17. — Variation de la charge de rupture et de l'allongement de l'aluminium et de différents métaux en fonction de la température.

Nous avons trouvé en effet :

	RÉSILIENCE à 15°.	RÉSILIENCE à basse température (1).
Aluminium	7,5 pliée	10,0 pliée
Duralumin	4,5	4,5
Al-Zn (5 p. 100 Zn)	5	5,5
— (15 p. 100 Zn).	6	6
— (30 p. 100 Zn).	2	1,5
Al-Zn-Pb (Zn = 15 p. 100, Pb = 1,5 p. 100).	4	6

(1) L'éprouvette plongée dans l'air liquide était portée aussi rapidement que possible sur le mouvement rotatif. Sans pouvoir garantir la température, on peut dire qu'elle était nettement inférieure aux plus basses températures atteintes dans l'utilisation pratique.

Propriétés chimiques. — Les chaleurs de formation des principaux oxydes, sulfures et chlorures de métaux intéressant les métallurgistes sont données dans le tableau suivant, rapportées à :

	Oxydes.	Sulfures.	Chlorures.
Al	+ 380,2	+ 124,4	+ 161
Mg	+ 143,3	+ 79,6	+ 151
Na(Na^2O)	+ 100,3	+ 88,2	+ 97,7
K(K^2O)	+ 97,1	+ 103,5	+ 105,6
Ca	+ 145,0	+ 92,0	+ 169,8
Ba	+ 126,4	+ 102,5	+ 197,1
Zn	+ 85,0		+ 97,2
Mn(MnO)	+ 90,8	+ 46,4	+ 112,0
Fe(FeO)	+ 64,6	+ 24,0	+ 82,5
— (Fe^2O^3)	+ 195		
Ni(NiO)	+ 59,7	+ 19,4	+ 74,5
Cu(Cu^2O)	+ 43,8	+ 20,3	+ 35,4
— (CuO)	+ 37,2	—	+ 51,5
Ag(Ag^2O)	+ 5,9	+ 5,3	+ 29,4
Hg(HgO)	+ 20,7	+ 10,6	+ 53,2
Pb(PbO)	+ 53,3	+ 20,4	+ 83
Sn(SnO)	+ 73,8	—	+ 80,8

On voit que la chaleur de formation des sels d'aluminium est extrêmement élevée. On en peut tirer deux déductions :

1° La grande altérabilité de l'aluminium ;

2° La facilité avec laquelle l'aluminium peut réduire les oxydes; on sait que ce dernier point se trouve à la base de certains emplois du métal, qui seront rappelés plus loin.

Quant à l'altérabilité du métal, elle a donné lieu, on s'en souvient, à des discussions fort longues entre Ditte et Moissan, l'un indiquant que cette altération est due à certaines impuretés, l'autre faisant remarquer que la couche d'aluminium qui prend naissance forme en quelque sorte un vernis protecteur contre l'altération future. Cette altérabilité relative du métal lui a valu un certain discrédit assurément immérité, du moins si le métal est de pureté assez élevée et s'il ne possède pas un fort écrouissage.

Nous devons signaler un récent travail (1) de Richard Seligman et Percy Williams sur l'action des eaux dures industrielles sur l'aluminium; les auteurs de ce travail ont montré que la présence de l'oxygène est indispensable à l'attaque. On sait que M. H. Le Chatelier a montré que l'attaque du métal se fait par dissolution du ciment intercristallin qui finit par séparer des grains entiers. Seligman et Williams confirment sensiblement ce mode de

(1) *Journal of the Institute of Metals*, 1920.

corrosion; ils ont cherché, de plus, une méthode de protection de l'aluminium; ils ont prouvé que la protection est complète si le métal est placé à la cathode d'un circuit électrique dont l'anode est constituée par du platine, du cuivre ou du graphite. On peut aussi obtenir une bonne protection en plaçant l'aluminium en contact avec un métal plus électropositif que lui; avec le fer et le zinc, il y a parfois un peu de corrosion. Il en est tout autrement avec les alliages d'aluminium qui sont électropositifs par rapport à l'aluminium, même lorsque le métal secondaire de l'alliage est électronégatif par rapport à l'aluminium.

Ainsi, on a constaté que l'alliage : Al = 90; Sn = 10 protège efficacement l'aluminium contre la corrosion; de même, avec les alliages Al — Zn; les auteurs indiquent que l'alliage à 5 p. 100 de zinc peut préserver une surface d'aluminium 500 fois plus grande que la sienne.

Influence des traitements sur les propriétés. — L'influence du laminage sur les propriétés est extrêmement nette :

	R	E	A p. 100.
Métal coulé	5 à 7	3 à 4	5 à 10
— laminé et recuit	9 à 10	4 à 5	25 à 35

Les travaux à température ordinaire ont pour l'aluminium l'influence générale que l'on connaît sur la plupart des produits métallurgiques, du moins ceux dont la température de recuit est supérieure à la température ordinaire (le plomb et l'étain ne subissent l'écrouissage qu'à basse température).

Différentes études ont été faites pour préciser l'influence de l'écrouissage. Nous signalerons spécialement celle du Colonel Grard (1).

A titre d'exemple, nous donnerons les résultats obtenus sur planches épaisses (10 mm d'épaisseur finale); le degré d'écrouissage est exprimé par le rapport :

$$\frac{S - s}{s} \times 100$$

(S = section initiale; s = section finale).

On voit que la charge de rupture passe de : 10 à 16 kg : mm² et les allongements de 38 à 8 p. 100. Mais il semble que l'on puisse atteindre facilement 20 kg : mm². En tous les cas, on peut admettre les chiffres suivants comme donnés commercialement :

(1) *L'aluminium et ses alliages,* Berger-Levrault, éditeur.

	R	E	A p. 100.	Réduction de section correspondante.
Aluminium dur	18	15	5	$\frac{2}{1}$
— 3/4 dur . . .	16	12	10	$\frac{1,75}{1}$
— 1/2 dur . . .	14	10	15	$\frac{1,5}{1}$
— 1/4 dur . . .	12	7	20	$\frac{1,25}{1}$
— recuit	9	5	35	$\frac{1}{1}$

Quant à la dureté Brinell, elle passe de 23 à 41 (pour écrouissage de 200 p. 100 qui correspond au maximum). Enfin la résilience tombe de 8 et 8,5, chiffre identique en long et en travers, à 5 en long et 3 en travers, ceci pour un écrouissage de 300 p. 100.

L'influence du recuit sur produit écroui a été non moins étudiée : on a utilisé pour cela l'essai au rebondissement de Shore. Mais l'étude la plus remarquable est celle de M. Grard qui a donné (1) de très nombreuses courbes sur ce sujet; nous citerons les courbes obtenues sur plaques épaisses après écrouissage de 300 p. 100 (fig. 18 et 19).

On voit que, dès basse température, le recuit se fait un peu sentir, et que le recuit n'est complet que vers 350°. D'autre part, on note qu'une température relativement peu supérieure (450°) produit une diminution des allongements.

De l'ensemble de ces essais, M. Grard a conclu que :

1° La détente est d'autant plus brusque que l'écrouissage de départ est plus grand;

2° La température de recuit complet, correspondant au maximum des allongements est d'autant plus rapidement atteinte que l'écrouissage est plus fort;

3° Les valeurs des caractéristiques à l'état de recuit complet augmentent avec le degré d'écrouissage du départ, du moins jusqu'à la valeur de 300°;

4° La durée du recuit complet est d'autant plus faible que l'écrouissage est plus élevé.

Nous avons été conduits à reprendre personnellement la question. Nous sommes arrivés très nettement à cette conclusion qu'un recuit à 350° d'une durée de 45 minutes donne un effet complet et qu'il y a à redouter une élévation de température ou une prolongation de durée qui, toutes deux, diminuent principalement les allongements.

(1) *Loc. cit.*

On parle quelque peu en ce moment d'aluminium durci, dit-on, par un procédé spécial de recuit à basse température. Ce procédé est protégé par un brevet tout au moins bizarre, puisqu'il prétend que tout métal et tout alliage recuit à basse température durcit considérablement. Nous avons eu entre les mains quelques échantillons que nous avons soigneusement examinés.

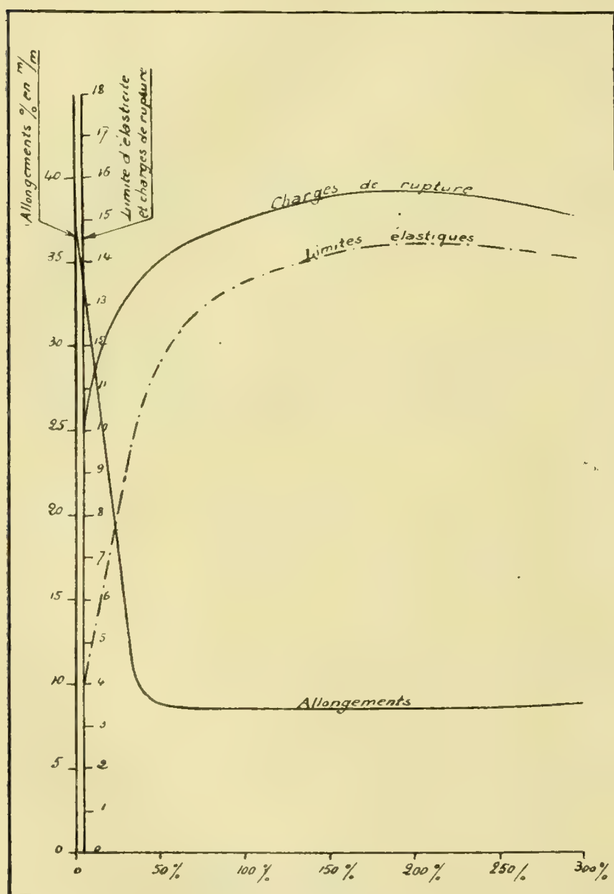


Fig. 18. — Variation des caractéristiques mécaniques (R, E, A) de l'aluminium en fonction du degré d'écrouissage (Grard).

L'examen micrographique nous a indiqué une solution solide; la structure est la même que pour l'aluminium ordinaire.

Les essais mécaniques nous ont donné les chiffres suivants : essai de traction sur barreau d'un diamètre de 6,5 ; longueur = 47. R = 27,8; E = 27,8; A p. 100 = 8,5; $\Sigma = 44,0$ et sur un autre échantillon avec éprouvette normale ($d = 13,8$ mm) R = 29,2 ; E = 28,5; A p. 100 = 7,3 ; $\Sigma = 29,3$.

On note toujours une limite élastique très voisine de la charge de rupture; les allongements ne sont pas cependant très faibles.

Nous croyons pouvoir ajouter que, contrairement à ce qui est annoncé par le producteur, d'ailleurs étranger, il ne s'agit nullement d'aluminium pur, mais bien d'un alliage d'aluminium-magnésium renfermant 1 p. 100 environ de magnésium, et d'ailleurs, écroui :

Voici l'analyse d'un échantillon :

Mg = 0,79; Fe = 0,46; Si = 0,72; Mn = 0,01.

Il ne faut pas oublier que l'aluminium écroui est nettement plus attaquable que le métal recuit.

Les impuretés de l'aluminium. Leurs influences. — Les principales impuretés de l'aluminium sont : le fer et le silicium; puis le carbone et le cuivre, rarement maintenant le sodium.

Ces impuretés proviennent : *a*, du minerai; *b*, d'incidents de fabrication; *c*, d'impuretés contenues dans les électrodes.

Quelle est l'influence de ces impuretés sur les propriétés des alliages? Il faut savoir ce que deviennent ces impuretés dans la constitution du métal. On doit donc considérer les diagrammes des alliages dans le voisinage de l'aluminium. Ces diagrammes se trouvent en annexe page 737 et en addenda p. 1034. On y remarque que :

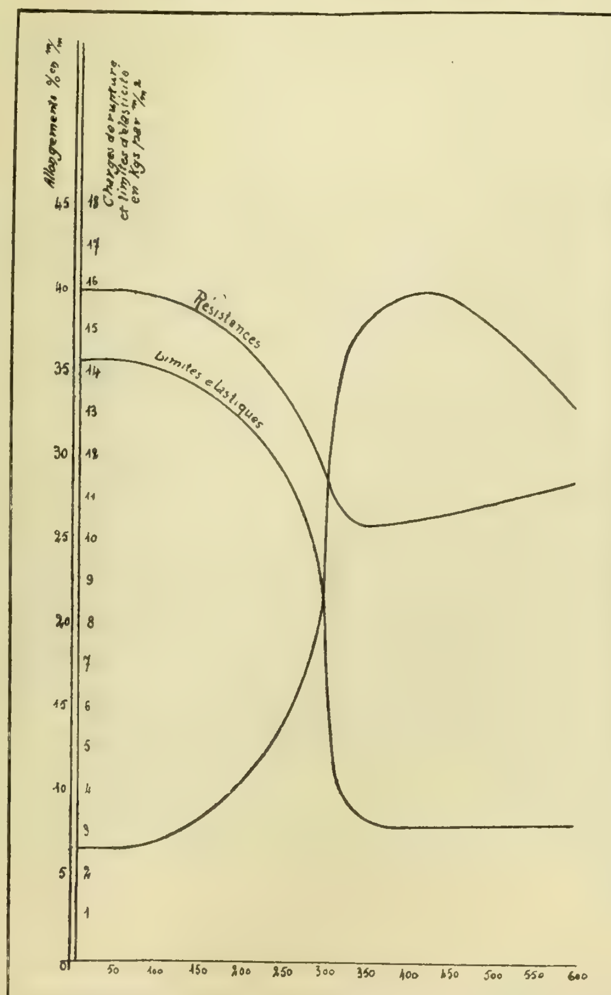


Fig. 19. — Variation des caractéristiques mécaniques (R, E, A) de l'aluminium en fonction du revenu après écrouissage de 300 p. 100 (Grard).

a, pour le fer, il n'existe aucune solution solide; il se forme la combinaison $FeAl^3$. Toute combinaison étant dure et fragile, $FeAl^3$ doit augmenter la dureté et la fragilité de l'alliage;

b, pour le silicium, il n'existe non plus aucune solubilité à l'état solide; on note un eutectique correspondant à 10 p. 100 de silicium et fondant à 570°. Le silicium s'isole donc à l'état d'eutectique Al-Si;

c, pour le carbone, aucune recherche systématique nous est connue. Le carbone est-il à l'état de graphite ou à l'état de carbure? On ne peut le préciser;

d, pour le cuivre, il se forme une solution solide qui peut renfermer à la température ordinaire jusqu'à 3 p. 100 de cet élément. Cette solution joue un rôle capital dans la trempe des alliages légers; nous en reparlerons;

e, le sodium ne forme ni combinaison, ni solution solide avec l'aluminium; les deux corps ne sont même nullement miscibles à l'état liquide. Le sodium conserve donc toute sa personnalité; d'où l'augmentation d'attaquabilité qu'il apporte.

Influences sur les propriétés mécaniques. — Dans une étude récente, nous

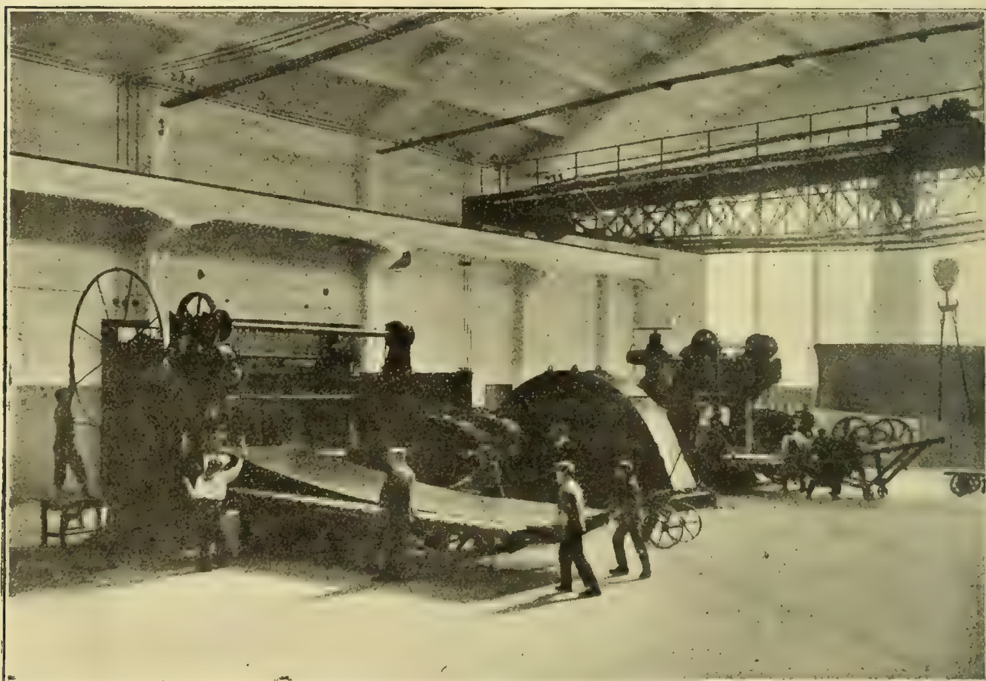


Fig. 20. — Gros laminoir à aluminium de l'usine de Chambéry (Société de l'Aluminium français).

avons montré, M. Portevin et nous-même, que le fer n'était point aussi redoutable qu'on le pense en général. Voici, en effet, les résultats obtenus (1) sur produits coulés (tableau I).

On voit que jusqu'à 1,7 p. 100, le fer n'est pas très nuisible aux propriétés mécaniques, mais il ne constitue pas, comme on le dit, une addition avantageuse : dès 3 p. 100, il apporte une notable fragilité.

Le silicium abaisse légèrement les allongements, tandis que s'élève lentement la charge de rupture. Voici quelques chiffres sur le métal laminé recuit (tableau II).

(1) *Revue de Métallurgie*, 1920. Mémoires, page 753.

Le cuivre augmente très sensiblement la charge de rupture et abaisse les allongements comme le prouvent les résultats suivants qui ont trait au métal laminé recuit (tableau III).

EMPLOIS DE L'ALUMINIUM. — Les emplois de l'aluminium sont basés sur les propriétés suivantes : *a*, faible densité; *b*, facilité de moulage en sable et en coquille; *c*, facilité de laminage et d'emboutissage; *d*, conductibilité électrique élevée.

Dans un grand nombre d'applications, il ne s'agit pas d'aluminium, mais d'alliages légers, à très haute teneur d'aluminium, qui se travaillent mieux et qui ont des propriétés particulières. Il en sera question plus loin.

TABLEAU I.

		CHOC	
Teneur en Fe de Al.	Dureté Brinell.	Résilience.	Angle de rupture.
—	—	—	—
0,7 p. 100	22	9,5(1)	45°
1,0 —	23	6	95°
1,7 —	28	5	136°
3,0 —	34	3	140°
3,9 —	37	3	150°

TABLEAU II.

Teneur en Si de Al.	R	A p. 100.
—	—	—
0,5 p. 100	10	21
1 —	11	20
2 —	12	18
4 —	13	16

TABLEAU III.

Teneur en Cu de Al.	R	A p. 100.
—	—	—
0 p. 100	10	25
0,5 —	11,5	20
1 —	13	18
2 —	15	16
4 —	17	15
6 —	18	14
8 —	19	13
10 —	20	12

Les principaux emplois de l'aluminium vous seront décrits dans les conférences ultérieures et je déflorerais leurs exposés si je vous signalais le développement récent et prochain des principaux débouchés offerts à l'aluminium.

Je me permettrai seulement d'insister sur les points suivants :

1° La fusion et la coulée de l'aluminium ne sont point opérations si faciles; le métal est si oxydable et les inclusions d'alumine sont si nuisibles à la qualité du métal, que l'on est conduit à de très grandes précautions, tant dans la fusion que dans la coulée : fours bien choisis, coulée très lente

du métal ; dans ces dernières années, on a utilisé, du moins aux États-Unis, le four électrique, de façon à éviter l'oxydation ;

2° L'aluminium se moule admirablement en coquille, même pour des pièces extrêmement complexes telles que les pistons. Mais en moulage au moins, l'aluminium s'emploie toujours allié. On trouvera dans l'Exposition de nombreux exemples de moulages en coquille, notamment ceux qui ont été envoyés par les usines de Dion-Bouton. Une annexe à ce mémoire décrit quelques coquilles-types (voir p. 756 à 762) ;

3° Nous avons déjà dit que le laminage de l'aluminium se fait à 425°,



Fig. 21. — Série de petits laminoirs à aluminium de l'usine de Chambéry (Société de l'Aluminium français).

ceci jusqu'à des épaisseurs de 3,5 mm. Au-dessous, on fait le laminage à froid, avec les recuits voulus. Il est tout à fait intéressant de noter qu'en France, de très belles usines se livrent à ces opérations ; nous signalons tout spécialement celle de Chambéry, appartenant à l'Aluminium Français ;

4° De plus, l'aluminium se file admirablement à la presse ; il y donne des barres, profilés et tubes complexes, d'une grande netteté ;

5° L'aluminium se réduit aisément en feuilles extrêmement minces, qui concurrencent le papier d'étain. Nous avons déjà décrit (1) cette fabrication,

(1) Guillet, *Bulletin de la Société des Ingénieurs Civils*, 1910.

ainsi que celle de la poudre dont les débouchés sont si intéressants. On arrive à donner aux papiers d'aluminium les plus belles teintes. On peut aussi recouvrir d'aluminium en poudre le papier ordinaire et lui donner un aspect très séduisant;

6° Beaucoup d'industriels redoutent encore d'utiliser l'aluminium, ne sachant pas le souder, ignorant qu'il peut aisément se cuivrer, se nickeler. Il faut absolument détruire tous ces préjugés : notre Semaine de l'Aluminium y contribuera certainement, non seulement par les expositions, mais aussi par les conférences et les expériences qui y seront faites;

7° L'aluminium en grains a déjà d'importantes applications. C'est lui notamment qui permet d'obtenir la réduction d'oxydes et les hautes températures caractéristiques de l'aluminothermie. On sait que cette opération consiste à mélanger l'oxyde à réduire à de l'aluminium en grains et à enflammer le mélange par un peu de bioxyde de baryum et d'aluminium déposés en un point; la haute température se propage très rapidement; il se produit de l'alumine et le métal correspondant à l'oxyde.

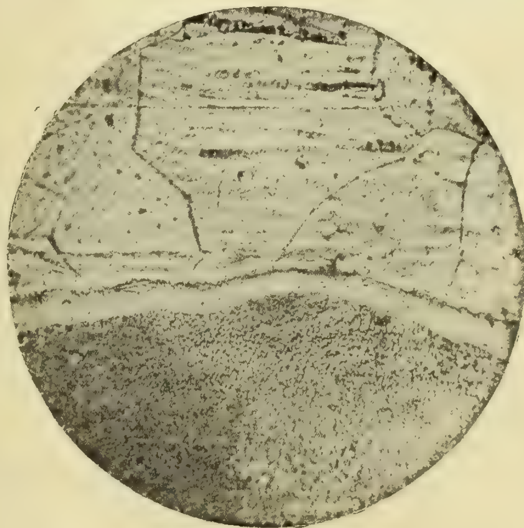


Fig. 22. — Micrographie d'un tube « calorisé ». Attaque de deux minutes par l'acide azotique à 4 p. 100 en solution alcoolique, suivie d'une attaque de 15 secondes par le perchlorure de fer acide.

L'aluminothermie a deux catégories d'applications qui sont mises sous vos yeux durant l'Exposition :

a, l'obtention de températures élevées, utilisées spécialement pour les soudures de rails, tubes, etc,;

b, la préparation de métaux ou alliages très purs et dont le prix élevé permet l'emploi d'un réducteur aussi coûteux que l'aluminium : tungstène, molybdène, ferro-vanadium, etc.

Mais l'aluminium en grains semble présenter un intérêt tout spécial dans un traitement très curieux qui a reçu le nom de *calorisation* (1). C'est un procédé de recouvrement : les objets à protéger, objets en fer, fonte, cuivre, etc., sont portés vers 800°, donc à une température supérieure au point de fusion

(1) Guillet, *Revue de Métallurgie*, mai 1921.

de l'aluminium (658°), dans un mélange d'aluminium en grains, d'alumine et d'un peu de chlorure d'ammonium; le tout est placé dans un four tournant, de façon à assurer le renouvellement du contact. Il se forme un alliage aluminium-fer signalé depuis longtemps par M. H. Le Chatelier, extrêmement dur, et une légère croûte d'alumine. Les objets calorisés résistent merveilleusement aux actions oxydantes, même à haute température; le procédé est donc tout indiqué pour la protection des pièces de foyer, des tubes de chaudières, etc.

IV. — Les alliages d'aluminium. Leurs propriétés et leurs emplois.

Les alliages d'aluminium sont généralement divisés en trois catégories :

a, les alliages lourds (densité supérieure ou égale à 6);

b, les alliages de densité moyenne (densité comprise entre 3 et 6);

c, les alliages légers (densité inférieure ou égale à 3).

A ces alliages, il faut ajouter ceux dans lesquels l'aluminium ne se trouve qu'en très faible quantité, inférieure à 3 p. 100.

Les principaux alliages lourds sont les bronzes d'aluminium ordinaires et spéciaux. Les principaux alliages de densité moyenne sont généralement à base de zinc ou d'étain. Les principaux alliages légers renferment du cuivre, du zinc, du magnésium, du manganèse, ces éléments pouvant être simultanément tous présents.

La constitution des alliages binaires d'aluminium est rappelée, sur les diagrammes correspondants, dans l'Annexe I à cette conférence (p. 737 et 1034).

Les bronzes d'aluminium ($d \geqslant 6$). — Ces alliages contiennent de 6 à 10 p. 100 d'aluminium. Ils ont des propriétés mécaniques fort remarquables qui sont résumées dans les courbes de la figure 23. Leur couleur varie de l'or vert à l'or franc. Ils se laminent à froid jusqu'à 8 p. 100 d'aluminium; ils sont alors constitués d'une seule solution solide.

L'alliage le plus intéressant est celui qu'a signalé pour la première fois Henri Sainte-Claire Deville, le *bronze à 10 p. 100 d'aluminium*. Voici ses principales caractéristiques :

Il fond à 1.050°. Il se lamine à chaud, et cela entre 650° et 950°. Il s'oxyde bien moins que l'acier, même à une température élevée : son chauffage ne demande donc aucune précaution; cela a permis à notre regretté collègue Robin de l'examiner au microscope à température élevée. Il s'estampe merveilleusement.

Ses propriétés mécaniques sont très remarquables : à l'état laminé et recuit, on a :

$R = 50$ à 55 kg mm²; $E = 20$ à 25 kg : mm²; $A = 45$ à 40 p. 100.

Il est formé de deux constituants α et β, plus exactement de α et de l'eutectoïde α-β.

Il prend la trempe et sa structure varie alors comme celle des aciers (1). Les modifications sont alors considérables (fig. 27 à 33) modifiées. Voici quelques chiffres :

Sur un bronze de composition (2) : Cu = 89, 1 p. 100; Al = 10, 1 p. 100.

	R	A
Brut de coulée	24,9 kg : mm²	20 p. 100
Trempé à 750°	33,9 —	17,5 —
— 850°	35,3 —	7 —

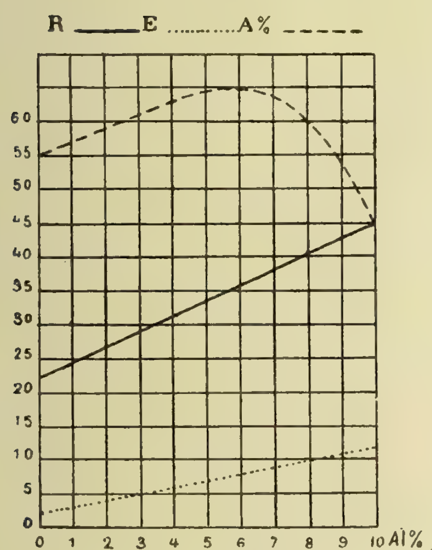


Fig. 23. — Caractéristiques mécaniques des alliages aluminium-cuivre.

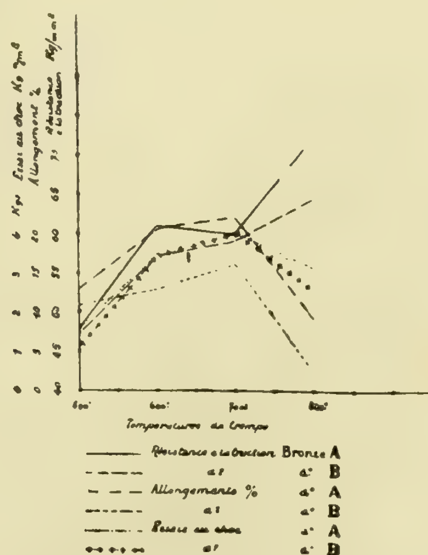


Fig. 24. — Influence de la trempe sur les propriétés des bronzes d'aluminium (Portevin-Arnou).

Sur deux bronzes, l'un à 9,95 p. 100 Al, l'autre à 10,02 Al + 1 p. 100 Mn. laminés en tôles (3), M. Grard a obtenu :

		R	A	ρ
Recuit	N° 1	49 kg : mm²	14 p. 100	3,5 kgm
	N° 2	48,5 —	13 —	3,6 —
Trempé à 600°	N° 1	61 —	20,5 —	7 —
	N° 2	57 —	13 —	6,8 —
Trempé à 700°	N° 1	60 —	22 —	8 —
	N° 2	59 —	16 —	8 —
Trempé à 800°	N° 1	72 —	9 —	6,1 —
	N° 2	64,2 —	2,2 —	5 —

(1) Breuil, *Comptes rendus*, 140, p. 58 et Guillet, *Comptes rendus*, 141, p. 464.
(2) Guillet, *Comptes rendus*, 141, p. 464.
(3) *L'aluminium et ses alliages*, Berger-Levrault, éditeur, p. 175.

Les courbes de la figure 24 résument les résultats obtenus par trempe et celles des figures 25 et 26 les résultats obtenus par revenu.

Il faut noter que l'alliage se travaille mal à froid; aussi on a dû renoncer à son emploi pour la fabrication de la monnaie et descendre la teneur en aluminium à 8-8,5 p. 100.

Il est certain que la construction mécanique n'utilise pas sur une assez large échelle cet alliage si remarquable. On peut citer comme applications :

Les objets nécessitant une belle coloration, un poli spéculaire et une haute inoxydabilité : la fabrication des couverts, des ustensiles culinaires, des objets de toilette ou d'ornementation; la robinetterie, la visserie, la boulonnerie, la construction des phares, des appareils de laboratoire ;

Les pièces devant résister à l'eau et spécialement à l'eau de mer : pièces de compteurs, pompes, clapets, soupapes, hélices, etc.;

Les pièces devant résister à des frottements à pression peu élevée : coussinets, bagues, portées, engrenages de distribution;

Les pièces devant résister à des températures élevées, à l'oxydation à ces températures, avec efforts répétés : plaques de foyer, tuyauterie, surtout les aubes de turbines.

Cependant, il faut reconnaître que ce métal est difficile à obtenir sain. On y rencontre souvent de petites inclusions d'alumine et surtout des soufflures.

Une étude systématique de la coulée du bronze d'aluminium a été faite récemment aux usines de Dion-Bouton par MM. Galibourg et Brizon. Il nous semble particulièrement intéressant de la résumer.

Quand on utilise les méthodes ordinaires de coulée, c'est-à-dire celles utilisées pour le bronze ordinaire, on obtient des pièces présentant deux catégories de défauts :

a, des gouttes froides que l'on peut réduire au minimum par coulée en source et tous autres moyens de coulée tranquille;

b, des cavités ou petites poches de retassures répandues dans toute la pièce, plus particulièrement localisées à mi-épaisseur de la pièce.

Les défauts sont dus à deux causes principales :

1° D'après le diagramme, la solidification de l'alliage $Cu = 90$; $Al = 10$, s'opère à température constante, comme un métal pur. D'où des retassures accusées; d'ailleurs, les cavités qui prennent naissance dans les pièces ont des parois à aspect dendritique; leur emplacement dans les pièces et les masselottes et même leurs modes d'élimination prouvent bien que ce sont des retassures et non des soufflures;

2° Le métal coulé à température trop basse se solidifie brusquement au contact de la paroi; il ne se soude pas au métal qui pénètre ultérieurement, d'où la formation de gouttes froides.

Pour éliminer les retassures, on peut utiliser différentes méthodes :

a, laisser la retassure se produire à sa place naturelle, mais en donnant au modèle une surépaisseur égale à l'épaisseur de la pièce augmentée de

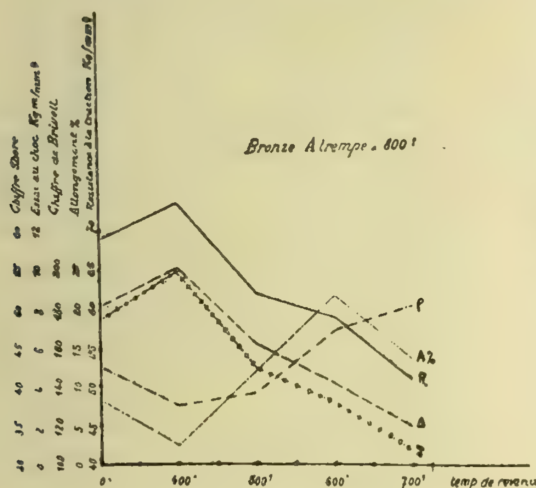


Fig. 25. — Influence du revenu sur un bronze d'aluminium trempé à 800°.

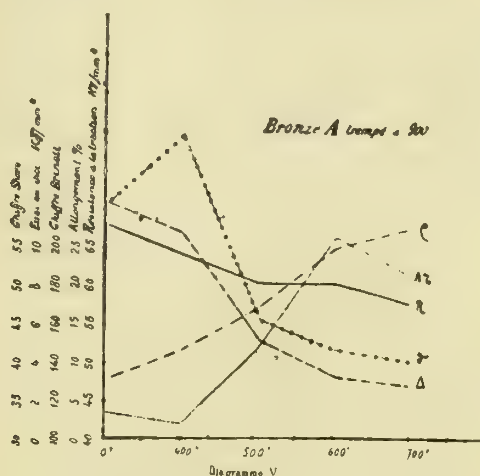


Fig. 26. — Influence du revenu sur un bronze d'aluminium trempé à 900°.

celle de la poche de retassure elle-même. Cette méthode entraîne un usinage coûteux et une perte élevée de matière ;

b, activer le refroidissement du métal en certains endroits à déterminer en fonction de la forme de la pièce, de telle sorte que la solidification commençant à partir de cette paroi se propage dans toute l'épaisseur du métal et atteigne l'autre paroi avant que la solidification n'y ait commencé.

En procédant de cette façon, on s'est rendu maître de la position de la poche de retassure (1), ainsi que le montrent les photographies des figures 35 à 38.

Sans doute, pourrait-on appliquer avec succès aux lingots de bronze d'aluminium les méthodes utilisées en sidérurgie et spécialement les procédés de compression Harmet.

On a souvent reproché aux pièces de bronze d'aluminium des points durs

(1) MM. Galibourg et Brizon publieront leurs fort intéressants essais dans la *Revue de Métallurgie*.

que l'on attribue à la formation d'alumine, s'éliminant difficilement et restant dans le métal. Nous n'avons jamais rencontré ce défaut.

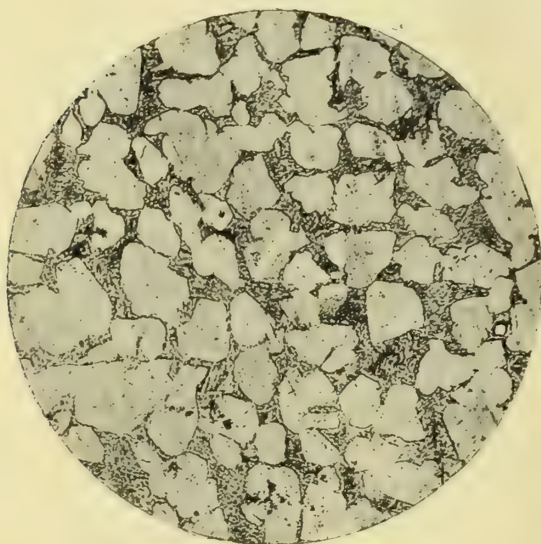


Fig. 27. — Bronze d'aluminium (Al = 9,5 p. 100). Recuit. Grossissement : 50 d.

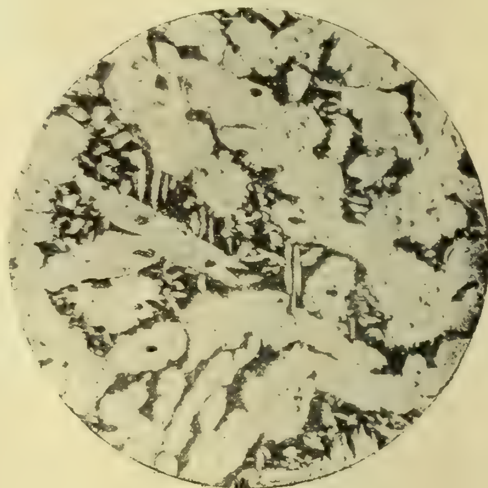


Fig. 28. — Bronze d'aluminium (Al = 9,5 p. 100). Trempé à 550°. Grossissement : 50 d.

On a d'ailleurs singulièrement perfectionné les bronzes d'aluminium par

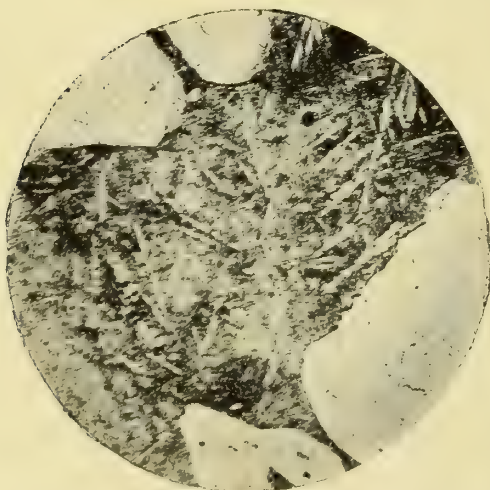


Fig. 29. — Bronze d'aluminium (Al = 9,5 p. 100). Trempé à 600°. Grossissement : 200 d.



Fig. 30. — Bronze d'aluminium (Al = 9,5 p. 100). Trempé à 900°. Grossissement : 50 d.

des additions de certains autres corps, notamment le manganèse, le nickel et le fer.

Ces trois éléments donnent un titre fictif (défini par le microscope) supé-

rieur au titre réel (défini par l'analyse chimique), de telle sorte que pour obtenir un alliage ayant pour titre fictif Cu = 90, il faut partir d'un alliage à titre réel en cuivre d'autant plus bas que la teneur en élément étranger est plus élevée. Mais les coefficients d'équivalence n'ont pas encore été tous établis.

Les *alliages cuivre — aluminium — manganèse* ont été étudiés pour la première fois d'une façon systématique par Rosenhain et Lautsbarry.

Leur principale conclusion a été la suivante : le manganèse a pour effet

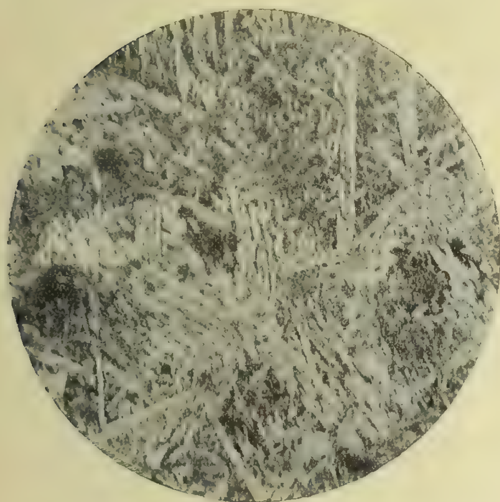


Fig. 31. — Bronze d'aluminium (Al = 9,5 p. 100). Trempé à 950°. Grossissement : 200 d.

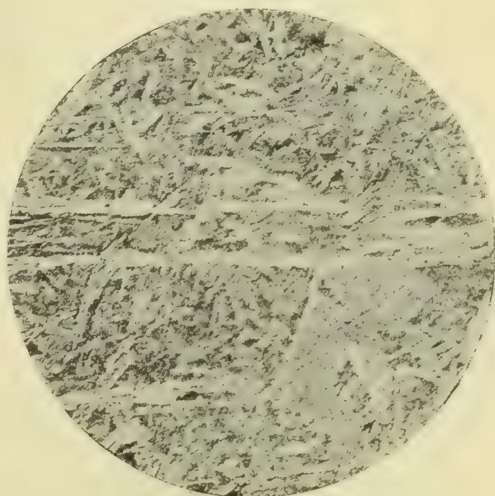


Fig. 32. — Bronze d'aluminium Al = 11,9 p. 100). Trempé à 800°. Grossissement : 200 d.

de durcir les bronzes d'aluminium, d'augmenter leur limite élastique et leur charge de rupture, sans diminuer leur ductilité.

Voici quelques résultats remarquables sur alliages coulés en coquille :

TENEURS				
Al p. 100.	Mn p. 100.	R	E	A p. 100.
—	—	—	—	—
10,03	0,43	50,7	25,0	24
9,16	0,93	53,4	20,5	46
9,06	1,95	52,3	22,3	30
9,33	3,78	62,3	23,6	32
8,02	3,94	52,0	20,8	50

Voici, d'autre part, des résultats obtenus sur un métal laminé recuit et trempé.

La théorie du coefficient d'équivalence montre qu'une teneur assez élevée

en manganèse donne à l'alliage la constitution α pure : il perd alors ses propriétés de trempe.

TENEURS		RECUIT A				TREMPÉ A			
Al p. 100.	Mn p. 100.		R	E	A p. 100.		R	E	A p. 100.
10,02	0,92	800	54,5	24,1	31,0	800	71,7	38,1	11,5
9,99	2,01	850	55,8	22,9	26,5	850	81,9	39,7	3,5
8,91	2,98	900	50,1	19,8	43	900	68,8	31,3	28

Quelques-uns de ces alliages sont déjà employés dans l'industrie.

D'autre part, il a été signalé de différents côtés que le manganèse avait le

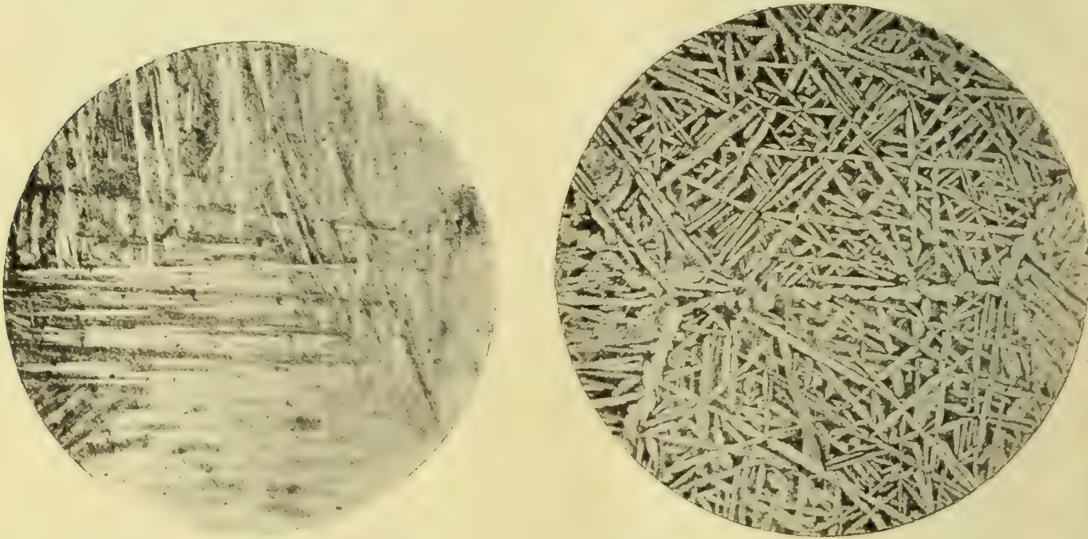


Fig. 33. — Bronze d'aluminium (Al = 11,9 p. 100). Trempé à 900°. Grossissement : 50 d.

Fig. 34. — Bronze d'aluminium (Al = 9,95 p. 100). Trempé et revenu. Grossissement : 200 d (Portevin).

sérieux inconvénient de donner lieu à des taches irrégulièrement colorées, qui nuisent au bel aspect du bronze de Sainte-Claire Deville.

Les *bronzes d'aluminium contenant du nickel* sont fort intéressants : nous avons donné à ce sujet quelques résultats sur *métal coulé* qui montrent bien l'influence du nickel produisant un titre fictif bien supérieur au titre réel (1).

Cu	Ni	Al	R	E	A p. 100.	Σ	ρ
89,53	3,07	6,85	20,3	10,0	27,0	»	15,6
89,53	5,01	4,87	20,3	9,0	24	»	18,6
89,95	9,32	0,43	23,0	»	31,5	»	8,7
82,71	13,95	3.01	59,6	»	3,5	10,1	4,3
82,75	15,76	0,93	49,0	34,0	6,0	11,5	7,2

(1) Guillet, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, CLVIII, 1914, p. 704.

Ces alliages sont d'ailleurs très améliorés par traitement mécanique :

L'alliage Cu = 82,20 ; Al = 2,50 ; Ni = 14,98 a donné :

Coulé :	R = 58,6 ;	A p. 100 = 5 ;	Σ = 7,3 ;	ρ = 6,0.
Laminé et recuit :	R = 77,8 ;	A p. 100 = 11 ;	Σ = 20,7 ;	ρ = 60.

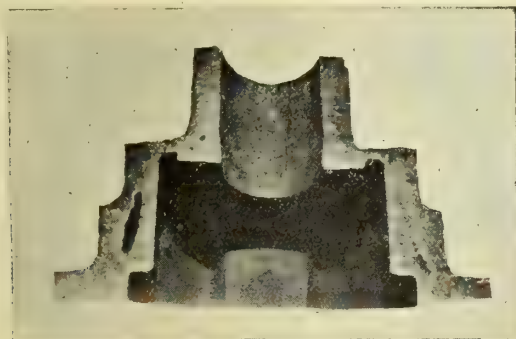


Fig. 35. — Pièce en bronze d'aluminium avec soufflure.

Enfin les *bronzes d'aluminium au fer* ont fait l'objet d'importantes recherches que nous n'avons pas encore publiées. Voici les résultats les plus remarquables sur métal coulé.

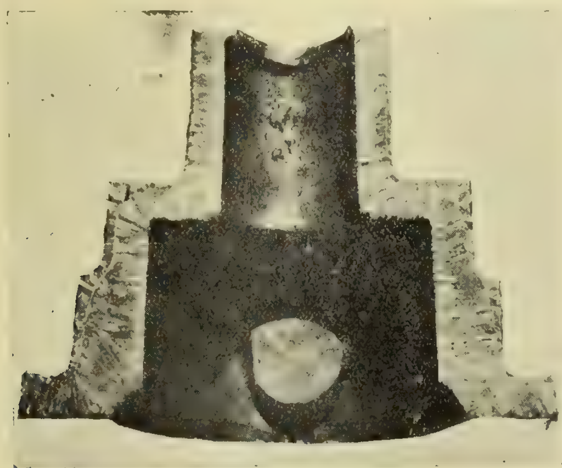


Fig. 36. — La même pièce que figure 35 sans soufflure, après attaque.

Cu	Al	Fe	R	E	A p. 100.	Σ	ρ
92,39	3,78	3,83	36,8	16,5	28,0	34,1	11,9
91,21	3,58	4,95	41,3	20,1	32,0	30,5	12,2
90,72	8,12	1,16	37,4	12,9	40,0	41,9	—
90,25	6,38	3,04	49,5	17,8	22,0	27,0	7,0
90,02	5,47	3,59	50,2	21,0	25,0	29,3	10,1
88,63	8,68	2,30	55,8	20,3	32,5	33,1	—
88,49	6,79	4,99	50,3	18,7	16,0	—	6,9
86,30	7,85	5,43	54,6	18,3	21,0	22,0	

On voit combien est réellement passionnante cette question des bronzes d'aluminium spéciaux et nous ne doutons pas qu'elle joue d'ici peu, dans la construction mécanique, un rôle aussi important que celle, capitale, des aciers spéciaux.

ALLIAGES DE DENSITÉ MOYENNE ($3 < d < 6$). — Les principaux alliages de densité moyenne sont les *alliages d'aluminium et de zinc*. Ils ont été étudiés pour la première fois par MM. Rosenhain et Archbutt. Nous avons eu l'occasion de rechercher récemment à améliorer le travail sur machines-outils de ces alliages par addition de quelques centièmes de *plomb*. Voici quelques résultats qui montrant l'intérêt de la question, sur laquelle, très certainement, M. Zetter attirera votre attention dans sa conférence (Chiffres obtenus sur barres filées à la presse).

Zn	Fe	Pb	Densité à 20°.	R	E	A p. 100.	Σ
5,17	0,52	traces	2,80	11,2	3,3	24	68,1
10,18	0,55	—	2,89	15,8	6,0	22	61,2
12,23	0,58	—	2,99	23,2	10,6	23	48,6
18,35	0,58	—	3,05	27,6	16,3	20	35,4
20,30	0,54	—	3,09	31,4	20,6	18	29,5
25,18	0,36	—	3,20	37,9	30,6	12	22,0
30,55	0,42	—	3,31	43,5	40,4	11	22,0
15,87	0,55	0,33	3,00	21,3	9,0	20	49,7
15,67	0,55	0,50	3,00	22,4	9,6	23	51,7
15,89	0,55	1,02	3,03	22,2	10,9	17	30,7

On note que quelques alliages rentrent dans la catégorie des produits légers et que la plupart ont une densité très voisine de 3.

Les trois derniers alliages renfermant du plomb sont particulièrement intéressants ; le dernier notamment se travaille fort bien, même sur tour automatique et constitue un très intéressant alliage de décolletage.

On a reproché à ces alliages leur attaquabilité. Quelques essais ont permis de montrer qu'elle n'est pas aussi grande qu'on le pense généralement.

Voici, en effet, les résultats des essais de corrosion par une solution de chlorhydrate d'ammoniaque à 2 p. 100; après 17 jours, les pertes constatées par décimètre carré ont été de :

0,08 g . . . . pour l'aluminium pur.
0,10 g . . . . — à 15 p. 100 Zn.
0,13 g . . . . — à 30 p. 100 Zn.

Avec 30 p. 100 de zinc, l'attaquabilité dans la solution de chlorhydrate d'ammoniaque n'a pas doublé.

Ces alliages sont employés souvent sous forme de pièces moulées, notam-

ment en coquille ; parfois, on fait suivre le moulage d'un matriçage. Le meilleur exemple est celui des bielles que l'on moule avec une surépaisseur et que l'on matrice. A cet effet, on utilise l'alliage Al = 82; Zn = 15; Cu = 3. Pour le moulage en coquille, on emploie fréquemment la composition Al = 87,5; Zn = 10; Cu = 2,5. Cet alliage est très fluide.

En outre, nous avons fait quelques recherches pendant la guerre, sur la demande du Ministère des Munitions, afin de trouver l'utilisation *d'alliages riches en zinc* pour remplacer des alliages de cuivre, dans certaines fabrications, notamment les fusées. Nous avions abouti (1) à un type d'alliages contenant de l'aluminium et assez intéressant.

Fig. 37. — Pièce en bronze d'aluminium avec défauts.

Sa composition est la suivante :

Zinc ordinaire (Pb = 1,0 p. 100)	88 p. 100
Cuivre	4 —
Aluminium	8 —

Sur barre filée et recuite, on a :

$$R = 35,7; \quad A \text{ p. } 100 = 24,2; \quad \Sigma = 39,7; \quad \rho = 1,2.$$

On trouverait dans les mémoires de Rosenhain et Archbutt et dans nos

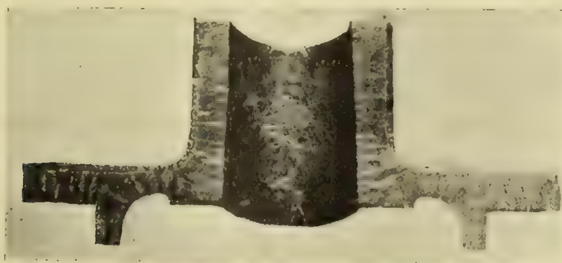


Fig. 38. — La même pièce que figure 37 sans défaut, après attaque.

recherches, des renseignements très précis sur la variation de propriétés avec la température.

(1) Guillet et Bernard, *Revue de Métallurgie*, 1918, Mémoires, p. 407.

On peut faire entrer dans les alliages de dureté moyenne certains *alliages complexes*, qui ne présentent d'intérêt que par leur grande facilité de moulages en coquille. Citons les suivants :

Al	Cu	Sn	Zn
23	8	19	50
40	4	20	36

Ces compositions ne découlent nullement d'études systématiques; elles rentrent dans la catégorie de ces innombrables brevets qui tiennent surtout de la recette culinaire. Actuellement, nous employons couramment comme alliage moulé en coquille :

Al = 23; Zn = 65; Sn = 10; Cu = 2.

Il se moule très facilement, a une densité moyenne; mais se ternit très rapidement à l'air.

Alliages légers ($d \leqslant 3$). — Les alliages légers sont assurément les plus intéressants. On peut classer les produits iudustriels en :

Alliages aluminium-cuivre jusqu'à 12 p. 100 de cuivre;

Alliages aluminium-zinc, jusqu'à 15 p. 100 de zinc;

Alliages aluminium-cuivre-zinc;

Alliages aluminium-manganèse;

Alliages aluminium-magnésium.

Les autres alliages avec l'étain, le nickel, etc., ne sont point usités de façon courante.

Il est bon de résumer brièvement ce que l'on sait sur l'influence de ces différents éléments.

Nous avons déjà indiqué les résultats obtenus avec le cuivre et l'influence de la combinaison $Al^2 Cu$ qui diminue les allongements et la résilience. Nous venons de signaler l'influence fort intéressante du zinc. Fort souvent, on ajoute un peu de cuivre et de zinc à l'aluminium, afin d'en faciliter le travail à l'outil, sans se préoccuper des propriétés mécaniques. C'est ainsi que les moulages d'automobiles, les carters notamment, ont généralement les compositions suivantes :

Cu : 2,5 à 6; Zn : 3 à 8, parfois 10.

Les pistons dits en aluminium, sont en réalité en alliages contenant des quantités importantes de cuivre et parfois un peu de magnésium; coulés en coquille, ils sont recuits à 400°. Leur dureté normale est caractérisée par une empreinte, sous charge de 500 kg, d'un diamètre de 2,5 à 3 mm avant recuit et de 3 à 3,4 mm après recuit.

Le tableau suivant donne une série d'analyses de pistons d'aluminium :

Numéros.	Cu	Si	Sn	Zn	Fe	Mg	Ni	Mn
1	13,96	0,54	0,40	0,70	0,50	traces	traces	traces
2	10,69	0,29	3,42	0,65	0,41	0,30	1,10	néant
3	12,60	0,40	traces	0,60	0,39	0,20	néant	traces
4	9,85	0,45	0,05	0,15	0,54	0,49	1,74	traces
5	11,28	0,79	néant	0,19	0,95	0,50	néant	1,08
6	11,31	0,38	néant	0,24	0,53	0,19	néant	néant
7 . .	11,03	0,75	—	0,53	1,16	0,37	—	0,75
8	6,40	0,25	—	1,12	0,98	0,18	—	—
9	2,28	0,63	—	0,30	1,01	2,90	1,74	—
10	12,63	0,34	0,06	0,50	0,76	néant	néant	néant
11	2,53	0,31	traces	1,06	0,69	0,60	1,85	néant
12	18,2	0,77	néant	néant	0,60	néant	néant	néant

On voit que la teneur en cuivre est extrêmement variable.

La pratique semble bien montrer que les meilleurs résultats, tant au point de vue du moulage qu'au point de vue de l'usage dans le moteur, sont donnés par l'alliage binaire renfermant 12 à 13 p. 100 de cuivre, recuit à 400°. Pour obtenir de bons résultats, on coule toujours en coquille avec noyau en sable, plus rarement noyau métallique; la coulée doit être faite à 675°-700° dans la coquille chauffée très près de 500°.

Dans tous les moulages en coquille, un point capital est la matière dont on badigeonne le moule avant la coulée, le *poteyage*, comme dit l'ouvrier. On utilise généralement des mélanges très variables de blanc d'Espagne, de silicate de potassium et d'eau.

On humecte la coquille chauffée. Le revêtement peut durer plusieurs jours.

Il faut insister sur les excellents résultats donnés au frottement par les alliages Al-Cu, spécialement l'alliage à 6 p. 100 Cu. On l'utilise surtout pour les pressions élevées et les vitesses relativement faibles; pour obtenir de bons résultats, il faut assurer le graissage, sans quoi, il y a « grippement ».

On est relativement peu fixé sur les *alliages aluminium-manganèse*. On sait cependant qu'il y a une zone de non-miscibilité à l'état liquide. Jusqu'à 5 p. 100 Mn, on peut laminer aisément ces alliages. La charge de rupture augmente légèrement : à 4 p. 100, on atteint 13 à 14 kg : mm^2, mais les allongements descendent très vite; à 4 p. 100, ils sont de 20 p. 100.

De la même façon paraissent se comporter les éléments suivants :

Tungstène, molybdène, vanadium, titane, zirconium.

Avec 3 à 5 p. 100 de ces éléments, on ne dépasse guère 15 kg : mm^2 de charge de rupture, tandis que les allongements descendent à 25 et même 20 p. 100. Ils ne semblent donc pas intéressants (1).

(1) SCHIRMEISTER, *Stahl und Eisen*, XXXV, 1916, p. 648-873 et 996.

Les *alliages aluminium-magnésium*, qui ont fait beaucoup parler d'eux il y a quelque quinze ans, n'ont pas eu grand succès : l'aludur appelle à nouveau l'attention sur ces alliages. Les recherches récentes faites aux États-Unis ont montré l'existence d'une solution solide importante (voir Annexe II); à la température ordinaire cette solution renferme environ 3 p. 100 de magnésium; au delà, on a la combinaison $Mg^4 Al^3$ qui rend le métal dur et fragile. Au delà de 6 p. 100 de magnésium, on ne peut plus laminer. Il faut cependant retenir que les derniers chiffres publiés indiquent pour 4 p. 100 de magnésium environ.

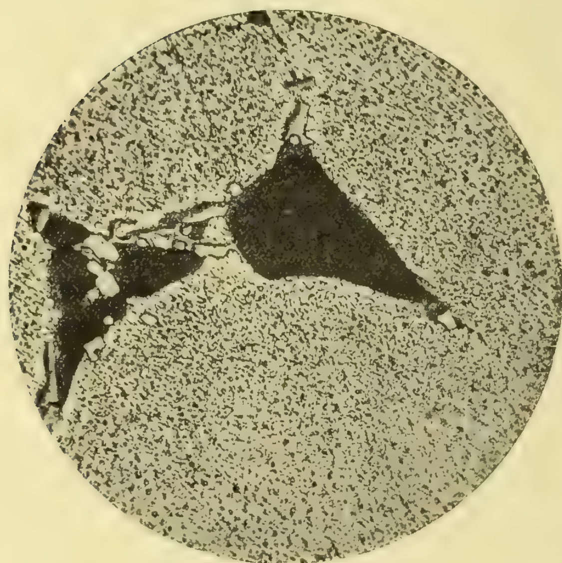


Fig. 39. — Duralumin.
Attaque par NaOH pendant 30 secondes.
Trempé à 475°, revenu à 425°.
Grossissement : 430 d.



Fig. 40. — Duralumin.
Attaque par NaOH pendant 30 secondes.
Trempé à 475°.
Grossissement : 430 d.

$$R = 20 \text{ kg : mm}^2; \qquad A = 22 \text{ p. } 100.$$

Dans des essais récents, nous n'avons point atteint ces chiffres; il est vrai que nos teneurs étaient plus faibles.

Nous avons eu, sur barres filées :

Mg	P	E	A	ρ
0,52 p. 100	11,9	9,6	18,5 p. 100	10,7
0,90 —	11,4	9,0	18 —	6,9
1,79 —	13,9	9,6	17 —	5,5
2,70 —	13,8	9,6	24 —	5,0

Le nickel et l'étain n'ont pas une influence très sensible; 4 à 10 p. 100 d'étain donnent à peine 12 kg : mm² de charge de rupture avec 25 à 15 p. 100 d'allongement.

Le duralumin. — De tous les alliages d'aluminium actuellement connus, le plus intéressant, au point de vue théorique comme au point de vue pra-

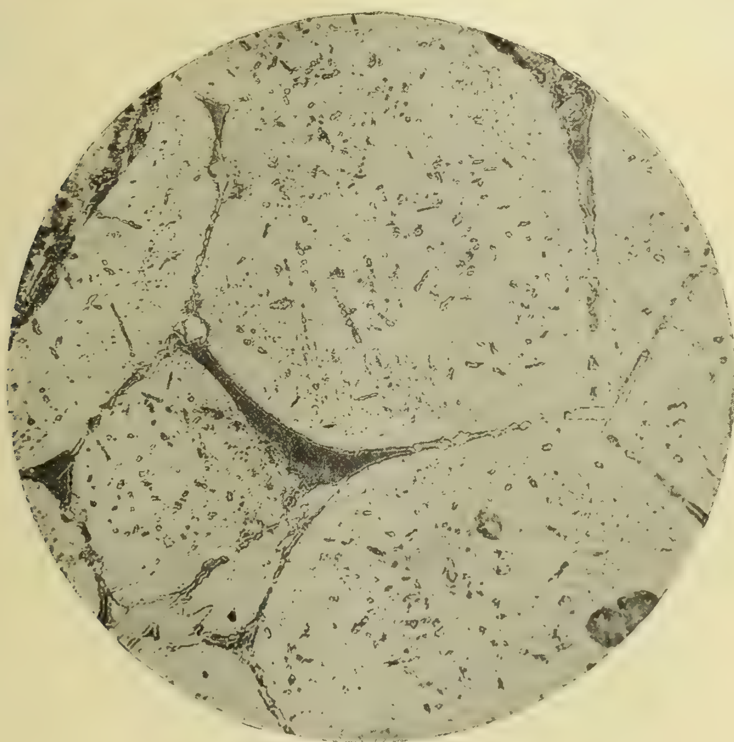


Fig. 41. — Duralumin.
Attaque par NaOH pendant 30 secondes.
Refroidi lentement après fusion.
Grossissement : 200 d.

tique, est le duralumin, dont les propriétés mécaniques sont dues à un traitement très spécial.

Cet alliage a été découvert par Alfred Wilm, à la suite d'études poursuivies depuis 1903; en 1911, il publia (1) un résumé de ses observations, il y attribuait le durcissement au magnésium. Il attirait d'ores et déjà l'attention sur la place que cet alliage devait prendre dans l'équipement de guerre.

Sans entrer dans de longues discussions sur le point de vue théorique, car la question n'est point absolument éclaircie, nous indiquerons ce qu'est

(1) *Metallurgie* (journal allemand), VIII, 225, 1911.

le duralumin, comment on le traite, quelle est la théorie de ce traitement et enfin quelles sont ses propriétés et ses usages.

La composition moyenne du duralumin est la suivante :

Cu = 3,5 à 4 ; Mn = 0,5 à 1 ; Mg = 0,5 ; parfois Zn = 1,5 à 2.

Il semble que sa caractéristique se trouve dans les teneurs en cuivre et en magnésium.

Après laminage ou filage à la presse, ces alliages sont trempés à 475° dans

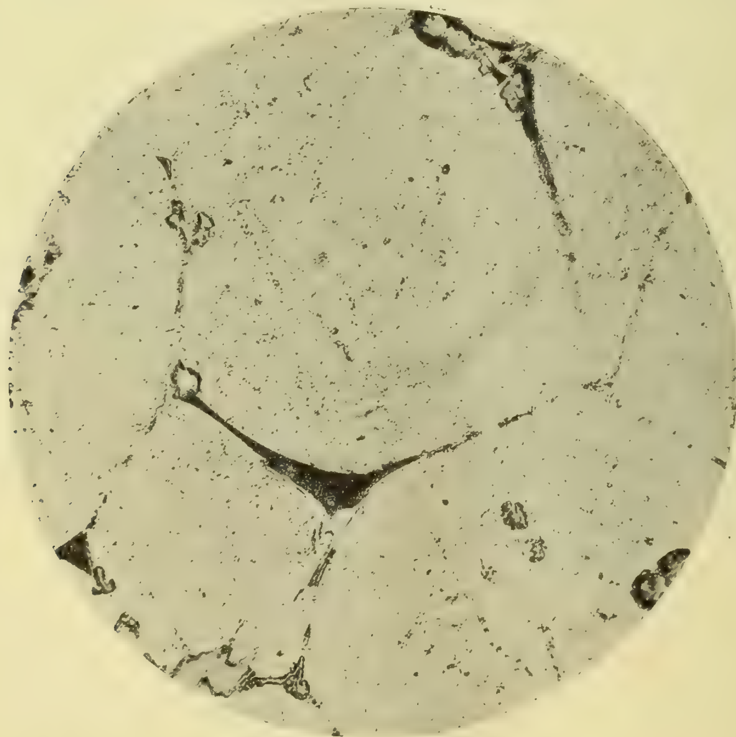


Fig. 42. — Duralumin.
Attaque par NaOH pendant 30 secondes.
Trempé à 475°
Grossissement : 200 d.

l'eau ; ce traitement ne transforme pas le métal ; il faut l'abandonner pendant quelques heures à 20° pour que ses propriétés se modifient considérablement. Les chiffres suivants donnent les valeurs moyennes :

	R	E	A p. 100.	ρ
Après filage à la presse	22	9	20	5
Après trempe à 475°	20	8	22	8
Après 48 heures à 20°	40	20	20	8

On voit que la trempe ne produit pas d'augmentation de dureté, mais bien un léger adoucissement; il faut un séjour à la température de 20° pour atteindre une résistance relativement élevée. D'ailleurs, la dureté croît avec le temps. Ceci est en parfaite concordance avec la théorie générale de la trempe. On sait que lorsqu'on trempe un acier dur à très haute température, dans un bain très froid, on a un métal qui ne présente pas le maximum de dureté : celui-ci est obtenu par revenu. Ici, la température de revenu produisant le maximum de dureté après 48 heures est de 20°.

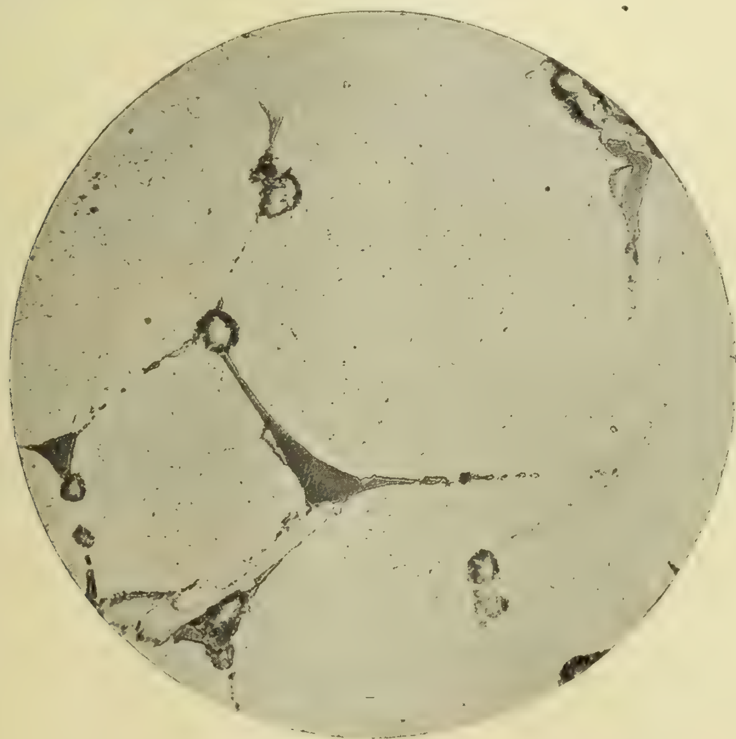


Fig. 43. — Duralumin. Attaque par NaOH pendant 30 secondes. Trempé puis revenu à 475° après refroidissement très lent. Grossissement : 200 d.

Les expériences suivantes prouvent que le revenu produit bien l'augmentation de dureté (1) :

1° Si l'on trempe le duralumin dans l'air liquide et qu'on l'y maintienne, il ne durcit pas;

2° Si l'on opère le recuit à température supérieure à 20°, l'état stable est plus rapidement obtenu que si on l'abandonne à la température de 20°.

(1) Guillet, Galibourg, Jean Durand, *Comptes rendus*, 1920 et *Revue de Métallurgie*, XVI, 202, 1920.

La théorie de la trempe du duralumin peut se résumer comme suit. Les alliages Al-Cu riches en aluminium sont formés d'une solution solide η (voir annexe I, page 737); ceux qui renferment plus de 3 p. 100 Cu, contiennent de plus l'eutectique Al^2Cu-η, à la température ordinaire. Mais entre 3 et 6 p. 100 Cu, il y a un point de transformation et, à température élevée, on a la solution solide η pure : Al^2Cu est entré en partie en solution. D'autre part, la combinaison aluminium-magnésium, de formule Mg^4Al^3, entre dans la solution η des alliages binaires Al-Cu. Le revenu aurait pour effet de faire sortir Mg^4Al^3 de la solution à l'état très divisé. Mais ce dernier point n'est pas encore nettement établi, bien que les photographies inédites ci-jointes (fig. 39 à 43) semblent le bien prouver.

Quoi qu'il en soit, les propriétés du duralumin sont extrêmement intéressantes et cet alliage a le plus brillant avenir là où l'on veut avoir simultanément une résistance assez élevée et une grande légèreté. Les prochaines conférences vous montreront tout ce que l'on peut en attendre.

CONCLUSIONS

En rendant hommage à l'œuvre considérable qui a été accomplie depuis la découverte de Henri Sainte-Claire Deville et depuis la création de la métallurgie moderne de l'aluminium par Héroult, nous voyons apparaître l'avenir considérable du métal bien français et tout spécialement la vulgarisation de ses alliages.

Durant ces dernières années, les études faites de façon très systématique et très scientifique, ont déjà conduit à des résultats fort remarquables représentés principalement par les alliages aluminium-zinc et surtout par le duralumin.

Nul doute que de nouveaux progrès ne soient rapidement faits au mieux de l'intérêt général.

Notre Société, en rassemblant aujourd'hui dans son hôtel, les principales applications, déjà nombreuses, de l'aluminium et de ses alliages, a voulu marquer l'époque d'extension de ce métal et rappeler les services de premier ordre qu'il a rendus pendant la grande Guerre.

Souhaitons que, dans dix ou vingt ans, toujours inspirée par l'idée qui la guide depuis cent vingt ans, voulant soutenir l'industrie nationale, la Société d'Encouragement soit conduite, tant les progrès auront été rapides, à une nouvelle exposition de l'aluminium et de ses alliages.

ANNEXE I

DIAGRAMMES DES ALLIAGES BINAIRES D'ALUMINIUM

Avant-propos. — Nous pensons d'un intérêt tout spécial de donner ici les diagrammes d'alliages binaires d'aluminium.

On sait que ces diagrammes permettent de répondre, d'une façon précise ou approximative, à toute une série de questions capitales qui se posent quotidiennement dans l'industrie et que l'on peut résumer brièvement :

1° *La fusibilité :* les lignes supérieures du diagramme, ou liquidus, donnent la variation de la température de commencement de solidification ; les lignes au-dessous du liquidus, ou solidus, donnent les températures de fin de solidification.

Les solidus et liquidus ont des points communs, notamment les maxima et minima et les points de fusion des métaux purs ;

2° *L'hétérogénéité de l'alliage :* à l'état liquide, il y a souvent des métaux non miscibles ; le liquidus est alors horizontal et une courbe sépare la zone à deux liquides de celle à un liquide homogène; à l'état solide, l hétérogénéité est en partie fonction de l'écart du solidus et du liquidus ;

3° *Les propriétés mécaniques :* elles sont directement en relation avec la constitution. On peut notamment rappeler que : à la température ordinaire, un alliage formé de deux constituants, l'un malléable, l'autre non malléable, possède des allongements moindres et des résiliences plus faibles que ceux du métal malléable initial; toute combinaison est dure et fragile; toute solution solide d'une combinaison est dure et fragile (il paraît y avoir une exception pour les alliages plomb-thallium, que nous étudions actuellement).

Avec la température, on note souvent des variations brusques dans les propriétés mécaniques; ces variations correspondent à des passages à travers des lignes de transformation ;

4° *Les traitements thermiques :* ce sont les lignes de transformation qui indiquent les températures de trempe. Elles sont particulièrement curieuses et intéressantes pour certains alliages d'aluminium.

Les alliages binaires d'aluminium.

Nous les diviserons en trois classes, au point de vue de la constitution :

1° *Alliages d'un métal entièrement miscible dans l'aluminium à l'état liquide*, se subdivisant en :

a) Alliages d'un métal entièrement miscible dans l'aluminium à l'état solide.

b) Alliages d'un métal partiellement miscible dans l'aluminium à l'état solide ;

c) Alliages d'un métal non miscible dans l'aluminium à l'état solide ;

d) Alliages donnant lieu à une ou plusieurs combinaisons ou solutions solides :

d_1) par maximum ;

d_2) par point de transition ;

d_3) par maximum et point de transition.

2° *Alliages d'un métal partiellement miscible dans l'aluminium à l'état liquide*;
3° *Alliages d'un métal ne présentant aucune miscibilité dans l'aluminium à l'état liquide.*

1° Alliages d'un métal entièrement miscible dans l'aluminium a l'état liquide.

a) **Alliages d'un métal entièrement miscible dans l'aluminium à l'état solide.** — On ne connaît actuellement *aucun exemple de métal entièrement miscible à l'aluminium* à l'état solide.

b) **Alliages d'un métal partiellement miscible à l'aluminium et ne donnant lieu à aucune combinaison ou solution solide de cette combinaison.** — Dans ce cas, nous aurions ou bien un eutectique avec solution solide à l'une au moins des extrémités du diagramme ou bien un point de transition avec au moins une solution solide dans le voisinage d'un des métaux purs.

On ne connaît aucun exemple de tels diagrammes.

Tout métal donnant avec l'aluminium une solution solide dans le voisinage de ce métal ou de l'aluminium fournit un diagramme complexe comprenant maxima ou plusieurs points de transition. On en verra plus loin des exemples.

c) **Alliages d'un métal non miscible à l'aluminium à l'état solide.** — Les diagrammes de ces alliages doivent comprendre un point eutectique et le solidus doit être formé d'une horizontale passant, bien entendu, par le point d'eutexie et allant d'un bout à l'autre du diagramme.

Deux cas très importants :

Aluminium-Silicium (diagramme de la figure 1).

Point de fusion du silicium : 1 430°.

Point d'eutexie : Si : 10 p. 100, fondant à 570°.

Solidus : horizontale allant d'un bout à l'autre du diagramme et correspondant à 570°.

Donc : tous les alliages sont formés de Al + Si.

Aluminium-Etain (Diagramme de la figure 2, d'après Gwyer) :

Point de fusion de l'étain : 232°.

Point d'eutexie : Sn = 98 p. 100, fondant à 229°.

Solidus formé par l'horizontale à 229° et allant d'un bout à l'autre du diagramme.

Donc : tous les alliages sont formés de Al + Sn.

Remarques :

a) L'eutectique est formé d'étain sensiblement pur;

b) La branche principale du liquidus est de forme assez mouvementée.

d) **Alliages donnant lieu à une ou plusieurs combinaisons ou solutions solides** (1).

d_1) Diagrammes avec un maximum. — *Aluminium-Magnésium* (Diagramme de la figure 3, d'après Grube, avec additions récentes dues à Mérica).

(1) Ces dernières, autres que celles qui peuvent exister aux extrémités du diagramme.

Point de fusion du magnésium : 651°.

Deux points d'eutexie :

33 p. 100 Mg, fondant à 451°;

68 p. 100 Mg, fondant à 440°.

Un maximum au liquidus : 54 p. 100 Mg, fondant à 439°, et correspondant à $Al^3 Mg^4$.

Solidus formé par :

une courbe allant du point de fusion de Al à l'horizontale du premier eutectique et y aboutissant au point 12 p. 100 Mg;

l'horizontale du premier eutectique (451°) se poursuivant depuis 12 p. 100 Mg jusque dans le voisinage du point eutectique seulement;

une ligne coïncidant sensiblement avec le liquidus entre le point d'eutexie et le maximum;

l'horizontale du second eutectique (440°), allant de la verticale correspondant à $Al^3 Mg^4$ jusqu'à la verticale de Mg.

Il n'y a donc pas de solution dans le voisinage du magnésium; par contre, il en existe une dans le voisinage de l'aluminium et une autre à gauche de la verticale correspondant à la combinaison.

Transformations dans le solide : la ligne limitant cette solution solide n'est pas une verticale, mais va se rapprochant de la verticale de Al lorsque la température s'abaisse.

En résumé, sur le diagramme les chiffres ont les significations suivantes :

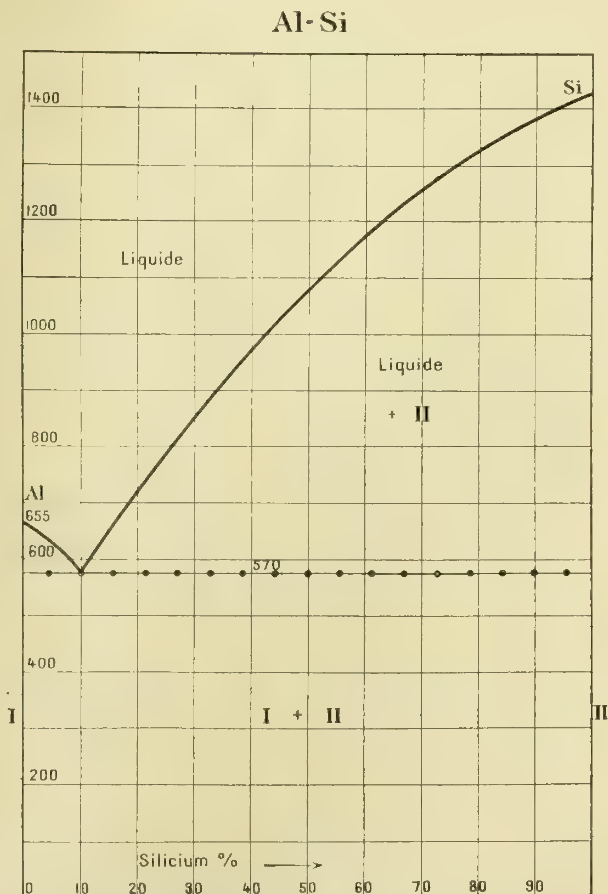


Fig. 1. — Diagramme des alliages Aluminium-Silicium.

I. — Solution solide riche en aluminium, et dont la teneur maximum en Mg varie avec la température pour être très faible dès 200°.

II. — Eutectique formé par la solution solide de $Al^3 Mg^4$, pure. solution solide.

III. — Eutectique : $Al^3 Mg^4$ — Mg.

IV. — Mg pur.

On notera spécialement l'importance, au point de vue de la trempe, de la courbe limitant la solution-solide I; son existence prouve la possibilité d'adoucir par trempe les alliages renfermant jusqu'à 12 p. 100 de magnésium. Ceci constitue une partie de la théorie de la trempe du duralumin.

Mais des travaux tout récents apportent des modifications très importantes et le diagramme qui en découle a des parties très différentes de celui que nous venons de donner. Il est reproduit dans la figure 4.

On y note deux maxima et les chiffres ont alors les significations suivantes :

I. — Solution riche en aluminium :

II. — Solution solide correspondant au premier maximum ;

III. — Solution solide de la combinaison $Al^2 Mg^3$.

IV. — Solution riche en magnésium.

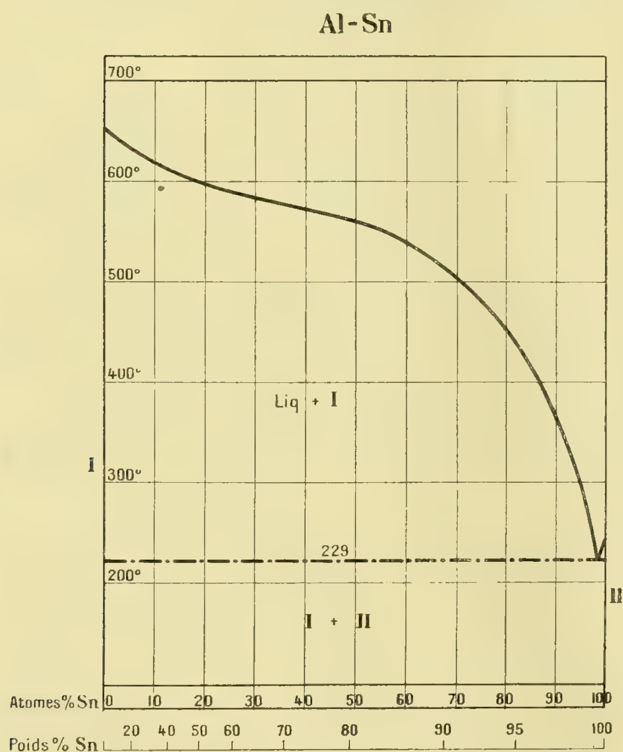


Fig. 2. — Diagramme des alliages Aluminium-Étain.

d_2) DIAGRAMMES AVEC UN POINT DE TRANSITION. — *Aluminium-Zinc* (Diagramme de la figure 5 dû à Rosenhain et Archbutt 1912) :

Point de fusion du zinc : 423°.

Un point d'eutexie : 4 p. 100 Al, fondant à 380°.

Un point de transition : 17 p. 100 Al, fondant à 430°.

Solidus comprenant :

Du côté du zinc : une droite légèrement inclinée se rapprochant beaucoup de la verticale du métal pur et aboutissant, au point 1 p. 100 d'aluminium, sur l'horizontale du premier eutectique qui se trouve à 380°.

Cette horizontale du premier eutectique 380°, allant de 1 p. 100 d'aluminium à la verticale correspondant à la combinaison Al^2Zn^3; l'horizontale du point de transition (430°), la partie située entre ce point et la verticale de Al^2Zn^3 indique simplement une transformation dans le liquide allant de la verticale de Al^2Zn^3 au point Al = 60 p. 100; enfin, du côté de l'aluminium, une branche de courbe très accentuée partant du point de fusion de l'aluminium pour aboutir à l'horizontale du point de transition (430°) au point 60 p. 100 Al.

Lignes de transformation : une ligne horizontale, située à 250°, indiquant une transformation allotropique de la combinaison Al^2Zn^3, ligne horizontale qui paraît se poursuivre jusque dans le domaine de la solution solide Al — Al^2Zn^3.

En résumé, les chiffres portés sur le diagramme ont les significations suivantes :
I. — Solution solide riche en zinc.
II. — $Al^2Zn^3\beta$.
III. — Al^2Zn^3 α.
IV. — Solution solide riche en aluminium.

d_3) DIAGRAMMES AVEC MAXIMA ET POINTS DE TRANSITION. — On ne connaît de diagrammes comportant plusieurs maxima que le nouveau diagramme Al — Mg

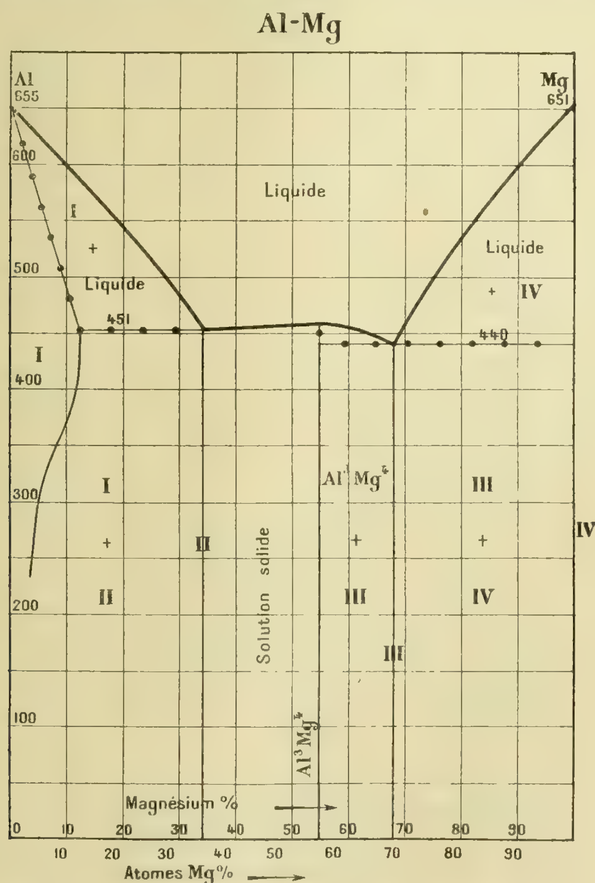


Fig. 3. — Diagramme des alliages Aluminium-Magnésium.

donné plus haut; ce diagramme avait déjà été indiqué, notamment par Boudouard, comme possédant plusieurs maxima. De nombreux diagrammes comportent simultanément un maximum et un ou plusieurs points de transition.

Aluminium-Cuivre. (Diagramme mis au point sur les travaux les plus récents, notamment ceux de P. Gwyer, 1908) (fig. 6) :

Point de fusion du cuivre : 1.080°.

Premier eutectique : 12 p. 100 Al, fondant à 1.038°.

Maximum correspondant à Cu^3Al à 1.050°.

Premier point de transition correspondant à Cu^3Al^2.

Deuxième point de transition : 43 p. 100 Al à 625°.

Troisième point de transition : 47 p. 100 Al à 590°.

Deuxième eutectique : 32 p. 100 Al fondant à 544°.

Solidus comprenant :

a) Une branche partant du cuivre pur et aboutissant à l'horizontale du premier eutectique (1.038°) à 9 p. 100 Al;

b) Une portion horizontale à 1.038°, de 9 à 12 p. 100 Al (point d'eutexie);

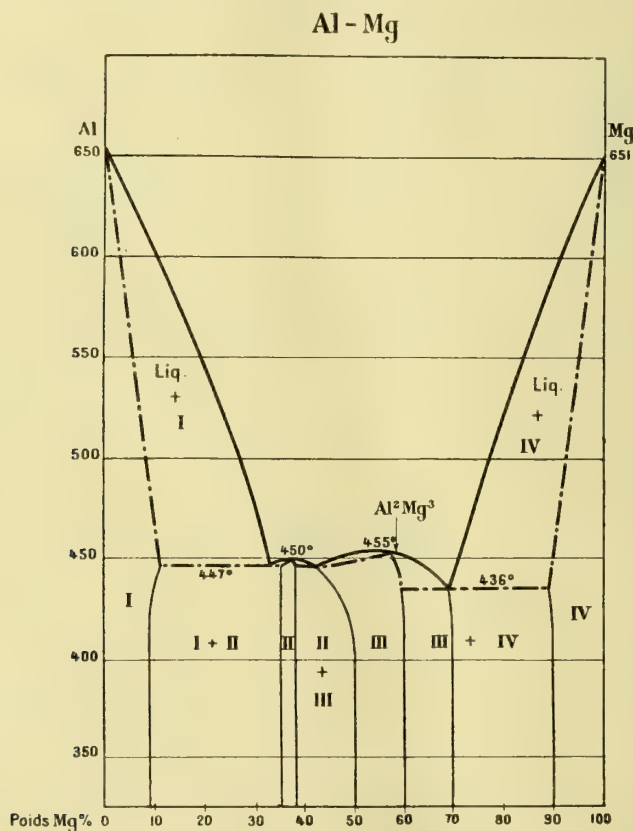


Fig. 4. — Diagramme des alliages Aluminium-Magnésium (dernières déterminations).

c) Deux petites branches de courbes passant par le maximum, la première partant du point d'eutexie, l'autre arrivant à un point du liquidus voisin du maximum et correspondant à 17 p. 100 Al (ici la ligne de transition serait de longueur sensiblement nulle).

Ce point est-il exactement sur le liquidus et à 17 p. 100 Al? On ne peut l'affirmer. Certaines déterminations physiques mettent en vue la combinaison Al^2Cu^3 qui correspond à 22 p. 100 Al; ce dernier chiffre est plus probable;

d) Une branche de courbe partant de ce dernier point et arrivant à l'horizontale du deuxième point de transition (625°) au point correspondant à une teneur de 28 p. 100 Al;

e) Une portion très courte de cette horizontale (625°) comprise entre 28 p. 100 et 30 p. 100 Al (le reste de cette horizontale correspond à une transformation dans le liquide);

f) La verticale du point 30 p. 100 Al, qui correspond à la combinaison AlCu;

g) La portion de l'horizontale du troisième point de transition (590°) partant de la verticale AlCu et allant jusqu'à la verticale à 44 p. 100 Al, correspondant à 67 p. 100 atomes d'aluminium, soit à la formule Al^2Cu (le reste de l'horizontale indique une transformation dans le liquide);

h) La verticale correspondant à cette combinaison Al^2Cu;

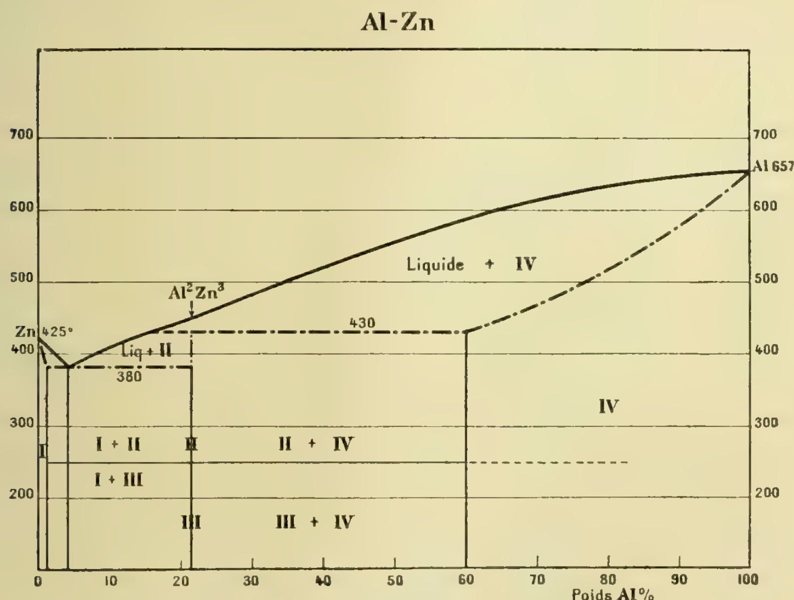


Fig. 5. — Diagramme des alliages Aluminium-Zinc.

i) L'horizontale du second point eutectique (544°), allant de la verticale de la combinaison Al^2Cu jusqu'à environ 96 p. 100 Al;

j) Enfin une courbe rejoignant ce point (Al = 96 p. 100; température 544°) au point de fusion de l'aluminium, courbe qui est sensiblement une droite.

Lignes de transformations : La solution solide qui correspond au maximum du liquidus donne un eutectoïde, contenant 13 p. 100 Al et se formant à 565°.

Les lignes limitant la solution solide pure, existant à températures élevées vont en ligne droite de ce point au premier point d'eutexie et au premier point de transition.

Enfin la ligne limitant la solution solide riche en aluminium est une courbe assez accentuée partant du point 4 p. 100 Al, température 544°, pour se rapprocher, lorsque la température s'abaisse, de la verticale du métal pur.

Sur le diagramme, les chiffres ont les significations suivantes :

I. — Solution riche en cuivre.

II. — Solution solide de la combinaison Al^3Cu, stable à température élevée et engendrant un eutectoïde.

III. — Solution solide renfermant de 22 p. 100 à 28 p. 100 d'aluminium à la température ordinaire, qui paraît être une solution de la combinaison Al^2Cu^3.

IV. — Combinaison AlCu.

V. — Combinaison Al^2Cu:

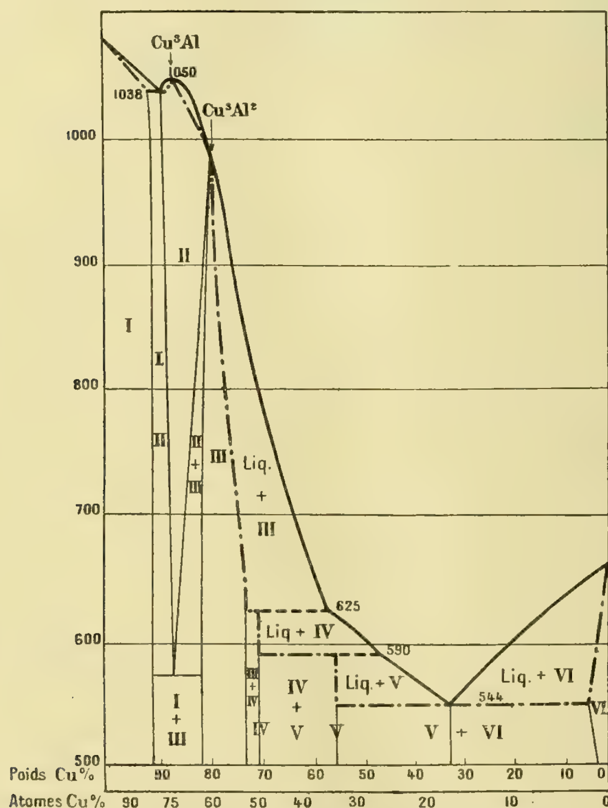


Fig. 6. — Diagramme des alliages Aluminium-Cuivre.

VI. — Solution solide riche en aluminium, dont la teneur varie avec la température. Ce dernier point est de toute première importance dans la théorie de la trempe du duralumin et n'a été établi que tout récemment.

Aluminium-Nickel (Diagramme de la figure 7, dû à Gwyer).

Point de fusion du nickel : 1.470°.

Liquidus : Premier eutectique à 6 p. 100 de nickel et fondant à 600°.

Premier point de transition : 28 p. 100 de nickel et 835°.

Deuxième point de transition : 42 p. 100 de nickel et 1.130°.

Maximum : 68 p. 100 de nickel et 1.630°.

Deuxième eutectique à 88 p. 100 de nickel et fondant à 1.370°.

Solidus : Horizontale correspondant au premier eutectique : 630° et allant de la verticale de l'aluminium pur à la verticale correspondant à la combinaison $NiAl^3$ (42 p. 100 Ni),

Verticale correspondant à $NiAl^3$;

Portion de l'horizontale du premier point de transition (835°) allant de la verticale correspondant à $NiAl^3$ à la verticale de la combinaison $NiAl^2$, la partie de

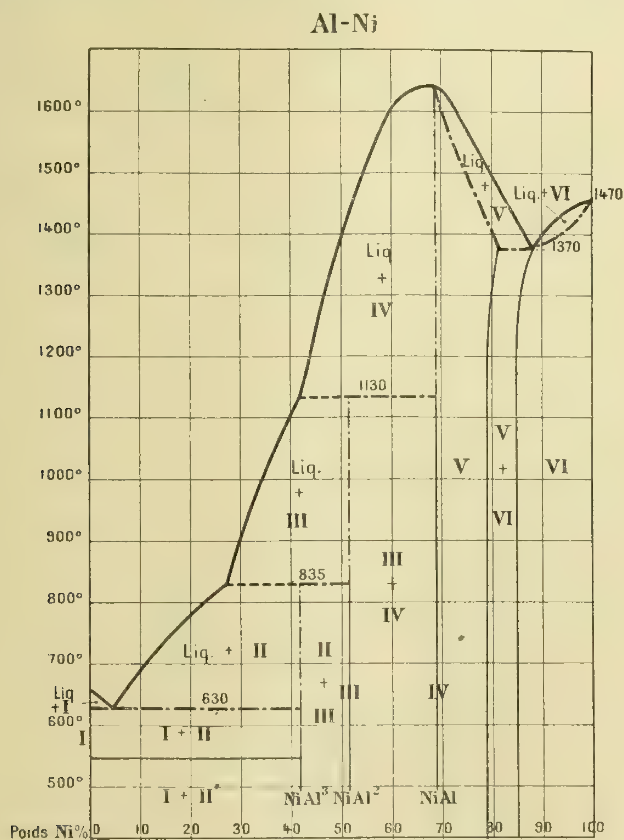


Fig. 7. — Diagramme des alliages Aluminium-Nickel.

cette même horizontale allant de la verticale de la combinaison $NiAl^3$ au point de transition correspondant à une transformation dans le liquide;

Portion de l'horizontale du deuxième point de transition (1.130°), allant de la verticale de NiAl, cette dernière correspondant au maximum du liquidus;

Portion de cette même horizontale qui va du point de transition à la verticale de $NiAl^2$, correspond à une transformation dans le liquide;

Verticale aboutissant au maximum et correspondant à la combinaison NiAl;

Courbe partant du maximum pour aboutir au point correspondant à 81 p. 100 Ni, situé sur l'horizontale du second eutectique (1.370°).

Horizontale du second eutectique (1.370°), allant de ce point (81 p. 100 Ni) au point d'eutexie (88 p. 100 Ni) et ne le dépassant pas;

Branche de la courbe joignant le point de fusion du nickel au point d'eutexie;

Lignes de transformation. Horizontale à 550°; elle ne correspondrait pas à une transformation allotropique de la combinaison $NiAl^3$; cette horizontale devrait [exister dans toute la zone contenant $NiAl^3$; son existence n'a été reconnue que dans la zone à gauche de la verticale $NiAl^3$; elle serait due à

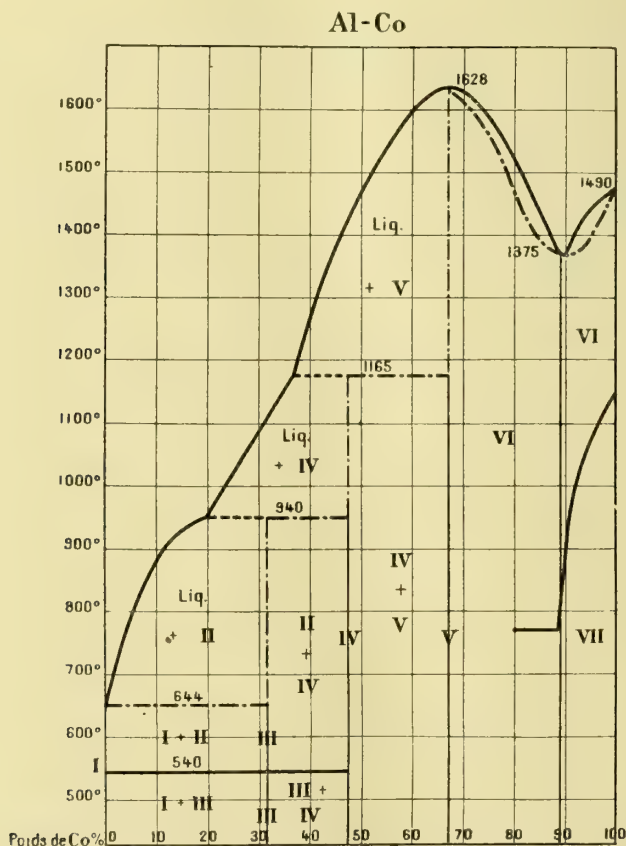


Fig. 8. — Diagramme des alliages Aluminium-Cobalt.

l'union de $NiAl^3$ à Al pour former une nouvelle combinaison dont l'existence n'a pu être établie.

Le domaine de la solution solide riche en nickel est limité par une courbe accentuée dans le voisinage de l'eutectique.

Les courbes de transformation magnétique du nickel et de la solution solide voisine de ce métal ne figurent pas sur le diagramme.

Les chiffres portés sur la figure 7 ont donc les significations suivantes :

I. — Al pur (pas de solution solide dans le voisinage de ce métal);

II. — Combinaison $NiAl^3$;

II'. — Autre combinaison non définie;

III. — Combinaison $Ni\,Al^2$;

IV. — Combinaison Ni Al;

V. — Solution solide de Ni Al dans le nickel, renfermant de 68 à 78 p. 100 de nickel à la température ordinaire;

VI. — Solution riche en nickel pouvant contenir jusqu'à 16 p. 100 d'aluminium à la température ordinaire.

De ce diagramme, on déduit notamment qu'une faible addition de nickel dans l'aluminium donne lieu à la formation de la combinaison $Ni\,Al^3$.

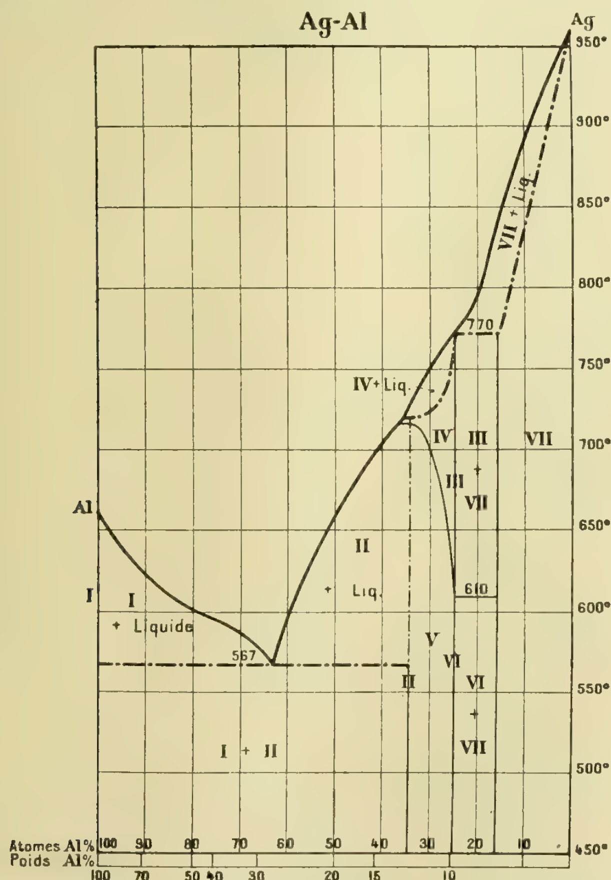


Fig. 9. — Diagramme des alliages Aluminium-Argent.

Aluminium-Cobalt (Diagramme de la figure 8, d'après Gwyer).

Point de fusion du cobalt : 1.490°.

Liquidus : Premier eutectique coïncidant sensiblement avec l'aluminium pur (644°);

Premier point de transition à 940° et 20 p. 100 de cobalt;

Deuxième point de transition à 1.165° et 38 p. 100 de cobalt;

Maximum à 1628° et 67 p. 100 de cobalt;

Deuxième eutectique fondant à 1.375° et correspondant à 89 p. 100 de cobalt.

Solidus : Horizontale du premier eutectique (644°).

Verticale correspondant à la combinaison Co^3Al^{13}.

Portion de l'horizontale du premier point de transition (94°) allant de la verticale correspondant à $Co^3 Al^{13}$ à la verticale correspondant à la combinaison $Co^2 Al^5$ (l'autre partie de cette horizontale indique une transformation dans le liquide).

Portion de l'horizontale du deuxième point de transition (1.145°) allant de la verticale correspondant à $Co^2 Al^5$ à la verticale du maximum, laquelle correspond à Co Al.

Branche de courbe joignant le maximum au deuxième point eutectique.

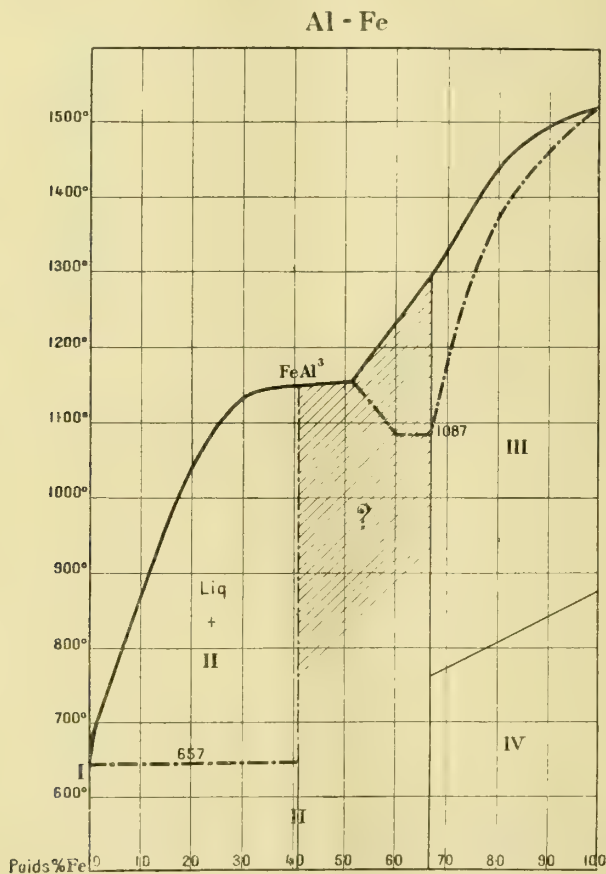


Fig. 10. — Diagramme des alliages Aluminium-Fer.

Branche de courbe allant du deuxième point eutectique au point de fusion du cobalt.

Lignes de transformation : Horizontale correspondant à la transformation allotropique de la combinaison $Co^3 Al^{13}$.

Courbe de transformation magnétique de la solution existant dans le voisinage du cobalt pur.

Ce diagramme appelle quelques remarques :

a) On voit un parallélisme très marqué entre les diagrammes Ni-Al et Co-Al;

notamment par l'existence de deux eutectiques, de deux points de transition et un maximum et par la transformation allotropique d'une combinaison ; mais les combinaisons n'ont pas mêmes formules; on trouve : $NiAl^3$; $NiAl^2$ et NiAl d'une part et Co^3Al^{13}, Co^2Al^5 et CoAl, d'autre part; enfin, dans les deux diagrammes, il n'y a a pas de solution solide du côté de l'aluminium pur; et on trouve une solution solide étendue du côté de l'autre métal, nickel ou cobalt.

b) Dans le cas du cobalt, la solution solide riche en ce métal mérite d'attirer l'attention.

D'après les travaux de Gwyer, le deuxième point eutectique ne serait qu'un minimum et le solidus y passant serait constitué par une courbe ayant sur ce point

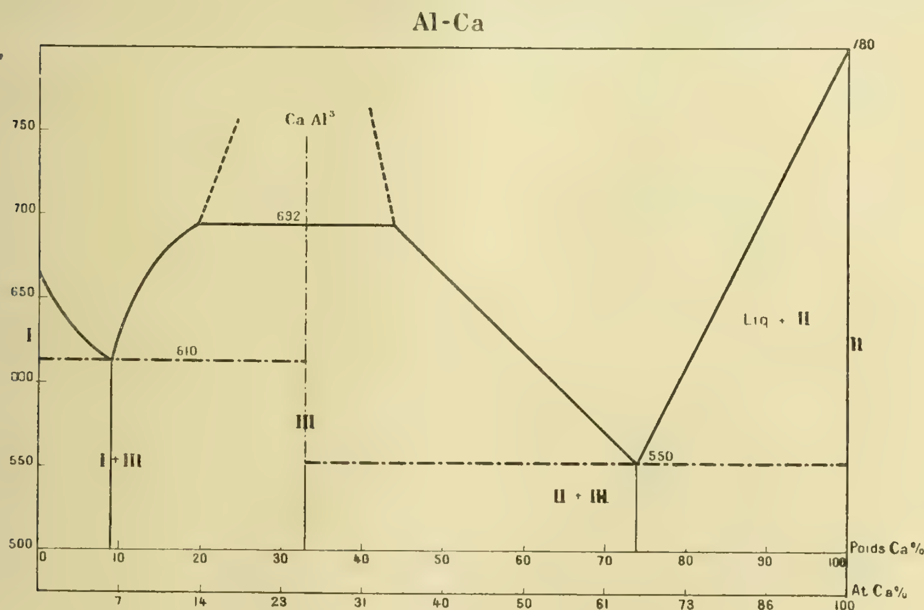


Fig. 11. — Diagramme des alliages Aluminium-Calcium.

une tangente horizontale comme le liquidus; il n'y aurait donc pas eutectique, mais rien une solution solide unique désignée par le chiffre VI.

Ceci ne nous paraît pas probable; en effet, l'abaissement du point de transformation magnétique du cobalt coïncide avec la portion du diagramme riche en cobalt, et cet abaissement s'arrête sensiblement à l'eutectique; le point de transformation est ensuite constant. Il semble donc qu'il faut admettre l'existence d'un eutectique dont le liquidus ne présente qu'une portion horizontale très faible; des mesures de résistance électrique permettraient de fixer définitivement la question. D'ailleurs, ce serait admettre l'existence d'une solution solide unique donnée par une combinaison non malléable et d'un métal malléable : ceci semble contraire aux règles déjà établies (une exception, que nous étudions, serait donnée par plomb-thallium).

Sur le diagramme, les chiffres ont les significations suivantes :

I. — Al pur;

II. — Combinaison $Co^3Al^{13}\beta$;

III. — Combinaison $Co^3 Al^{13}\alpha$;
IV. — Combinaison $Co^2 Al^3$;
V. — Combinaison Co Al;
VI. — Solution solide de Co Al dans le cobalt, pouvant contenir de 67 à 89 p. 100 de cobalt à la température ordinaire;
VII. — Solution solide riche en cobalt, pouvant contenir jusqu'à 11 p. 100 Al non magnétique;
VIII. — Même solution solide magnétique.

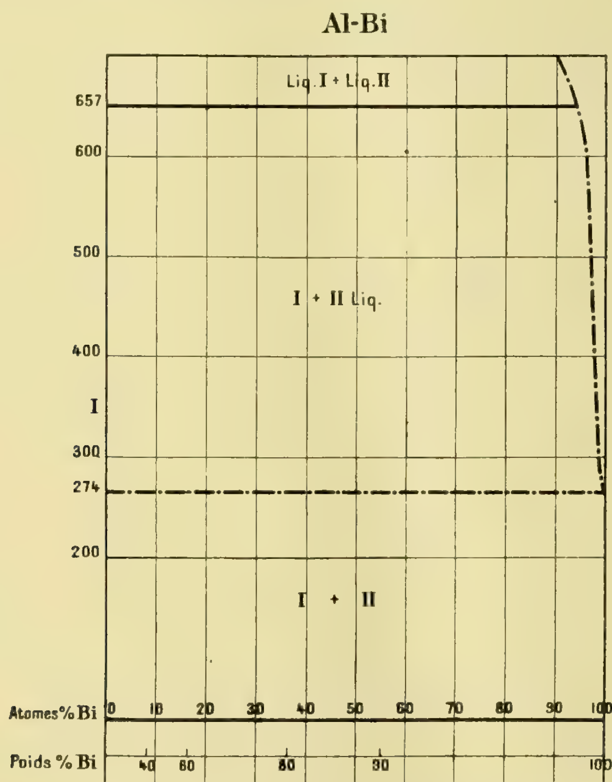


Fig. 12. — Diagramme des alliages Aluminium-Bismuth.

Aluminium-Argent (Diagramme de la figure 9, d'après Petrewkof).
Point de fusion de l'argent : 960°.
Liquidus : Point d'eutexie 64 p. 100 Al et fondant à 567°.
Premier point de transition à 721° et correspondant à 36 p. 100 Al.
Deuxième point de transition à 770° et correspondant à 26 p. 100 Al.
Solidus : Horizontale du point eutectique (567°) allant de la verticale de l'aluminium pur à la verticale de la combinaison $Al Ag^2$.
Verticale de la combinaison $A Alg^2$.
Courbe partant du point de jonction de l'horizontale du point de transition (721°) et de la verticale $Al Ag^2$ avec le point de jonction de la verticale $Al Ag^3$ et de l'horizontale du deuxième point de transition (770°).

Courbe reliant le point de cette horizontale (770°), située à 17 p. 100 Al, et le point de fusion de l'argent.

Lignes de transformation : Horizontale à 610°, correspondant à la transformation allotropique de la combinaison Al Ag^3;

Courbe de transformotion allotropique de la combinaison Al Ag^2; cette transformation existe dans la solution β et varie avec la température; elle se ferait également sentir dans la zone solide-liquide contenant la combinaison Al Ag^2.

Voici les significations des différents chiffres marqués sur le diagramme :

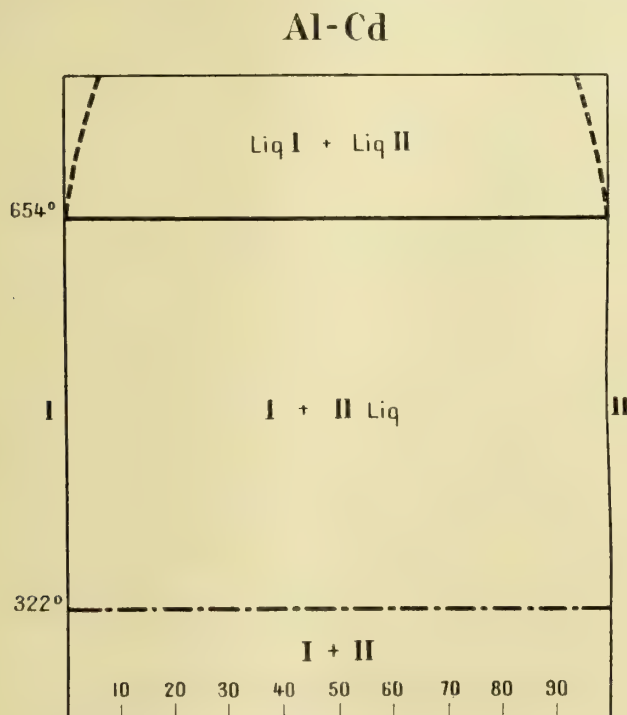


Fig. 13. — Diagramme des alliages Aluminium-Cadmium.

I. — Aluminium pur;
II. — Combinaison Al Ag^2;
III. — Combinaison Al Ag^3 β;
IV. — Solution solide Al Ag^3 β et Al Ag^2;
V. — Solution solide Al Ag^3 α et Al Ag^2;
VI. — Combinaison Al Ag^3 α;
VII. — Solution solide riche en argent.

Aluminium-Fer (Diagramme de la figure 10, d'après Gwyer).
Point de fusion du fer : 1.520°.
Liquidus : Eutectique correspondant à l'aluminium pur;
Maximum correspondant à une partie presque horizontale du diagramme;

Branche partant d'un point voisin du maximum et allant au point de fusion du fer.

Solidus : Horizontale de l'alumium pur (657°) :

Verticale de la combinaison Fe Al^3;

Lignes encore imprécises;

Branche de courbe partant du point : 67 p. 100 Fe et 1.087° au point de fusion du fer.

Lignes de transformation : correspondant à la transformation magnétique de la solution solide riche en fer.

Les chiffres portés sur le diagramme ont la signification suivante :

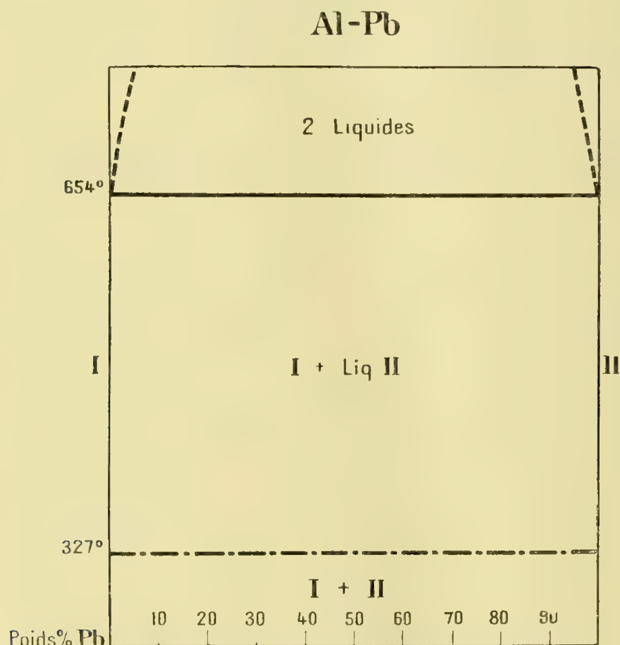


Fig. 14. — Diagramme des alliages Aluminium-Plomb.

I. — Aluminium pur:
II. — Combinaison Fe Al^3;
III. — Solution solide riche en fer et non magnétique;
IV. — Même solution solide, mais magnétique.
(Voir les addenda I et II, p. 1034).

2° Alliages d'un métal partiellement miscible dans l'aluminium a l'état liquide.

Dans ce cas le liquidus présente une partie horizontale correspondant aux proportions pour lesquelles il n'y a pas miscibilité.

Aluminium-Calcium (Diagramme de la figure 11, d'après Donski) :

Point de fusion du calcium : 780°;

Deux eutectiques : 1° à 81 p. 100 Ca, fondant à 610° ; 2° à 75 p. 100 Ca, fondant à 550°.

Partie horizontale du liquidus allant de 22 à 45 p. 100 Ca et correspondant à 692°.

Solidus formé :

Des deux horizontales 610 à 550° s'arrêtant à une verticale correspondant à 33 p. 100 Ca. Ceci indique l'existence de la combinaison Ca Al^3.

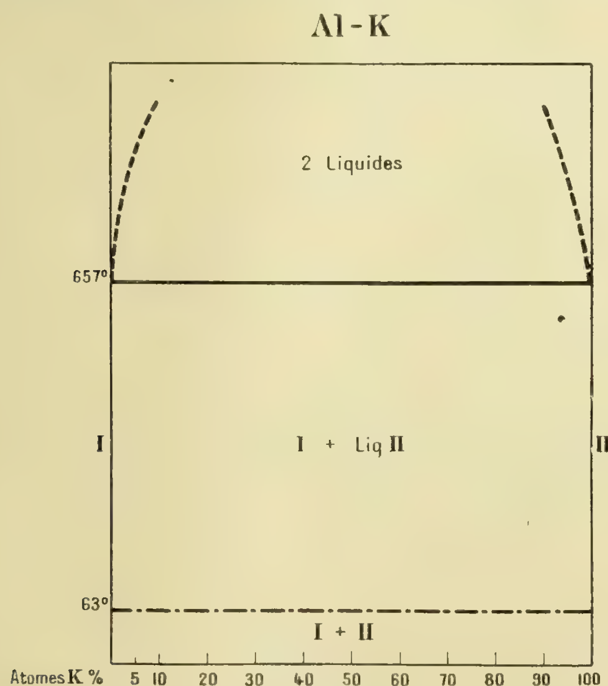


Fig. 15. — Diagramme des alliages Aluminium-Potassium.

On a alors les régions indiquées, dans lesquelles :

I. — Al;

II. — Ca ;

III. — Ca Al^3.

A gauche de la verticale correspondant à Ca Al^3, on a Al + Ca Al^3.

A droite de cette verticale, Ca + Ca Al^3.

Il n'y a aucune solution solide.

Aluminium-Bismuth (Diagramme de la figure 12, d'après Gwyer) :

Il y a presque insolubilité complète à l'état liquide.

Cependant la ligne horizontale correspondant à l'aluminium ne va pas tout à fait jusqu'à la verticale du bismuth.

Les alliages sont formés de Al + Bi.

Aluminium-Manganèse (Voir l'Addendum III, p. 1037).

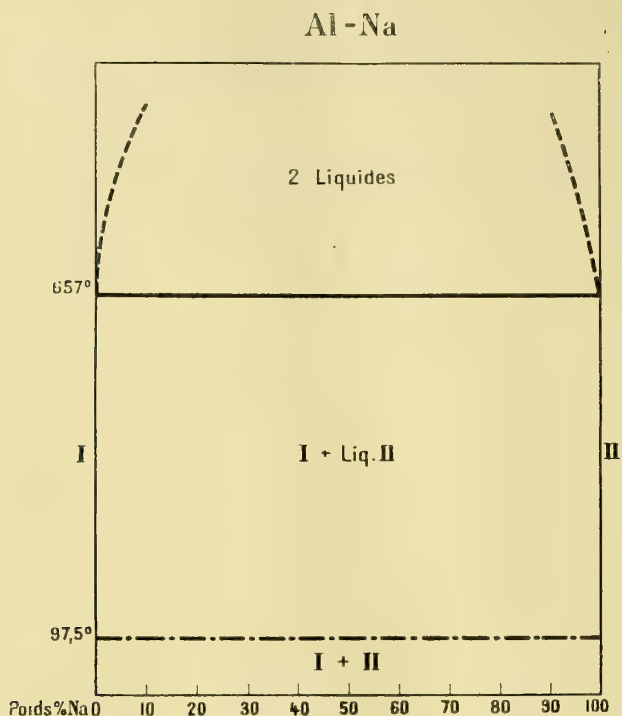


Fig. 16. — Diagramme des alliages Aluminium-Sodium.

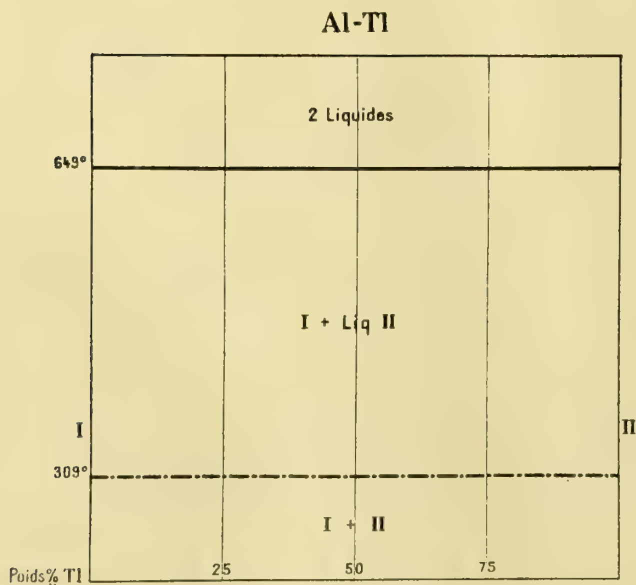


Fig. 17. — Diagramme des alliages Aluminium-Thallium.

3° Alliages d'un métal ne présentant aucune miscibilité dans l'aluminium a l'état liquide.

Ce cas est très fréquent. Le diagramme est alors formé de deux lignes horizontales passant par les points de fusion des métaux purs. Elles vont d'un bout à l'autre du diagramme. Les alliages sont formés de deux métaux sans eutectique. De plus, s'il y a une différence de densité, les constituants ont une tendance à se séparer et les alliages sont hétérogènes.

Les alliages suivants donnent lieu à cette catégorie de diagrammes.

Aluminium-Cadmium (Diagramme de la figure 13, d'après Gwyer) : Point de fusion du cadmium : 322°.

Aluminium-Plomb (Diagramme de la figure 14, d'après Gwyer) : Point de fusion du plomb : 327°.

Aluminium-Potassium (Diagramme de la figure 15, d'après Smith) : Point de fusion du potassium : 63°.

Aluminium-Sodium (Diagramme de la figure 16, d'après Mathwesen) : Point de fusion du sodium : 97°,5.

Aluminium-Thallium (Diagramme de la figure 17, d'après Doerinckel) : Point de fusion du thallium : 309°.

Léon Guillet.

ANNEXE II

DESCRIPTION DE QUELQUES COQUILLES DE MOULAGE POUR L'ALUMINIUM ET SES ALLIAGES

1re *Coquille : dynamo-démarreur, pâlier côté collecteur.* — La coquille comprend d'abord un socle en fonte monté sur 4 pieds en fer plat; sur ce socle viennent se monter 4 chapes mobiles qui forment, lorsqu'elles sont assemblées, l'extérieur de la pièce. L'intérieur est obtenu au moyen d'un noyau métallique que l'on place convenablement dans ces chapes et qui est guidé à sa partie supérieure par les deux demi-chapes de coulée.

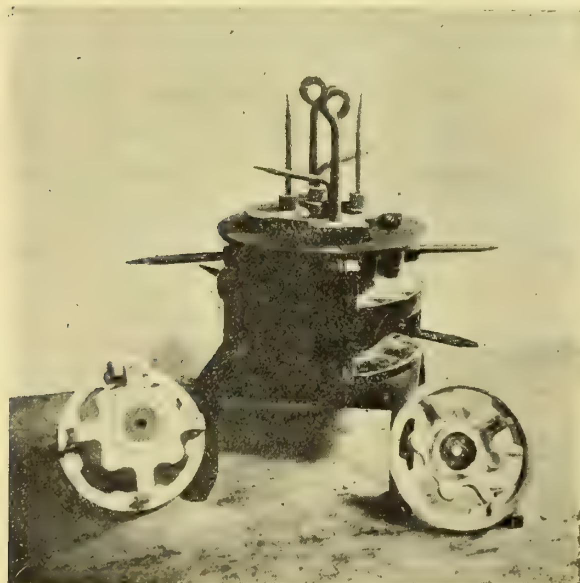


Fig. 1. — Dynamo-démarreur, palier côté collecteur. (Moule monté, deux pièces coulées montrant les deux faces principales.)

Cette coquille présente quelques particularités intéressantes :

a) Etant donnée la forme intérieure de la cage, si le noyau était en une seule pièce, on ne pourrait pas le démonter; on a donc fait 4 parties démontables que l'on vient loger dans 4 chapes avant la mise en place du noyau et qui restent dans la pièce lorsque celle-ci est coulée et le noyau démoulé; il ne reste qu'à les faire tomber en les frappant légèrement avec un marteau en bois.

b) Une bague en acier, présentant sur son pourtour des rainures et des queues d'aronde permettant d'obtenir un bon encastrement de la bague dans la pièce, se trouve noyée dans la pièce à la coulée même. Le socle de la coquille porte simplement en son centre une embase munie d'un petit téton permettant la mise en place et le centrage de la bague.

c) Enfin les bossages de la pièce sont refroidis au moyen de 4 broches traversant le noyau sur toute sa hauteur.

2e *Coquille : Dynamo-démarreur, palier côté commande.* — Cette coquille, beaucoup plus simple que la précédente, comprend encore un socle monté sur quatre pieds, mais ce socle est travaillé et vient former lui-même l'extérieur de la pièce l'intérieur est obtenu, comme précédemment, au moyen d'un noyau métallique, d'une



Fig. 2. — Dynamo-démarreur, côté collecteur (moule partiellement démonté).

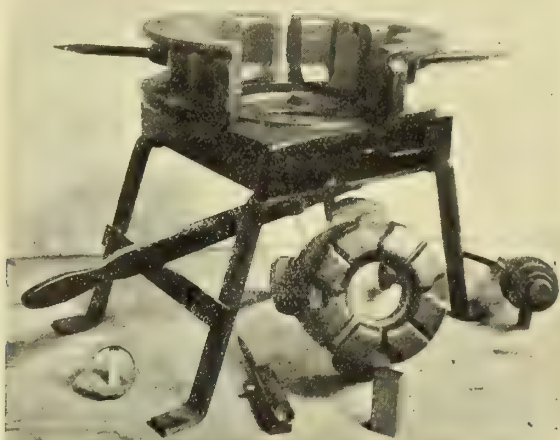


Fig. 3. - Dynamo-démarreur, palier côté commande (moule démonté).



Fig. 4. — Dynamo-démarreur, palier côté commande (moule monté, pièce obtenue).



Fig. 5. — Boîte de remplissage d'huile (moule démonté, pièces coulées, dont l'une coupée par l'axe).

seule pièce ici, guidé par les 2 demi-chapes de coulée. Au centre du socle pénètre par le bas un autre noyau venant former une rainure circulaire dans l'extérieur de la pièce; on le dégage au moyen d'un levier, ce dispositif ayant pour but de libérer complètement la pièce immédiatement après la coulée. Enfin, le socle est évidé à un certain endroit et dans cet évidement, qui forme glissière, pénètre une pièce permettant la venue et le démoulage de deux petites pattes et d'un bossage qui recevront le couvercle du graisseur.

Une bague en acier est encore noyée dans la pièce à la coulée, mais elle doit être



Fig. 6. — Boîte de remplissage d'huile
(moule démonté avec parties démontables).

maintenue ici à une certaine hauteur du fond ; pour cela, le noyau du haut est traversé par un porte-bague, à l'intérieur duquel se trouvent 2 griffes que l'on fait sortir par un excentrique et qui maintiennent la bague à la hauteur voulue; après coulée, il n'y a qu'à tourner l'excentrique pour faire rentrer les griffes et libérer la bague.

3e *Coquille : Piston de moteur à explosion.* — La forme intérieure du piston ne permettant pas l'emploi d'un noyau métallique, le noyau est fait en sable.

Les différentes compositions de sables suivantes ont été essayées :

1° Sable à noyau ordinaire, tamisé très fin et très peu serré, passé à la couche et étuvé :

Vieux sable de Fontenay.	8
Sciure de bois.	2

2° Sable blanc, non passé à la couche, mais étuvé :

Sable blanc	10
— de Fontenay	2
Arébène	0,5
Huile de lin cuite	0,25

3° Sable blanc, non passé à la couche, à laisser sécher à l'air :

Sable blanc.	8
— de Fontenay	0,5
Silicate de soude	0,5

Il n'y a guère de différence entre ces sables au point de vue de l'aspect extérieur des pièces. A l'ébarbage, c'est le dernier qui tombe le mieux évidemment, puis le

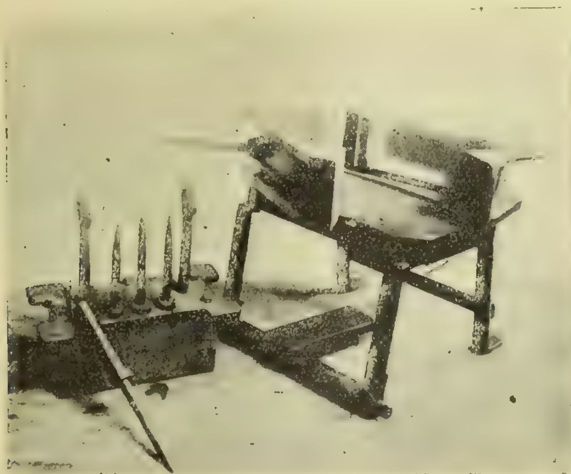


Fig. 7. — Tableau d'éclairage, partie supérieure du couvercle (moule démonté avec refroidisseur).

deuxième, enfin le premier. Mais cet avantage se trouve détruit par ce fait que les noyaux qui tombent le mieux sont les plus fragiles ; ils s'égrènent par conséquent



Fig. 8. — Tableau d'éclairage, partie supérieure du couvercle (moule monté, pièces coulées montrant les deux faces).

facilement, et on a des chances d'avoir par leur emploi des fonds de piston piqués si l'on ne prend pas suffisamment de précautions au moment de leur mise en place

dans la coquille. D'autre part, les noyaux en sable ordinaire sont certainement les plus faciles et les moins coûteux à faire. Aussi est-ce ce sable qui a été adopté.

Au point de vue de la température du noyau au moment de la coulée, des essais ont montré qu'on pouvait sans aucun inconvénient les mettre froids dans la coquille, pourvu que les coulées soient suffisamment fortes.

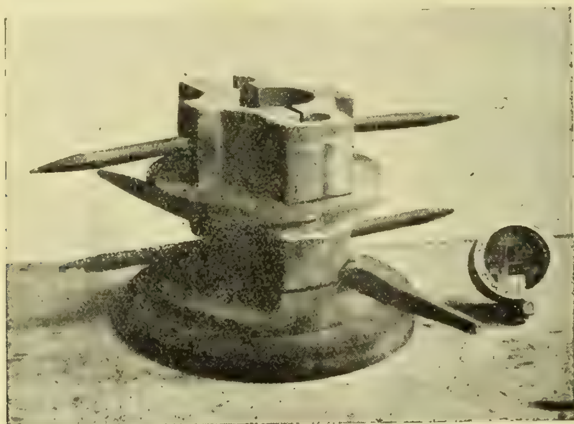


Fig. 9. — Piston de moteur (moule monté, pièce coulée vue du côté de la partie creuse).

Quant à la température de l'alliage à la coulée, elle fut déterminée par des essais faits depuis 900° jusqu'à 650°. Au-dessus de 750°, les bossages intérieurs sont retassés; au-dessous de 675°, la pièce ne vient pas entièrement. La bonne température de coulée paraît être aux environs de 700°.

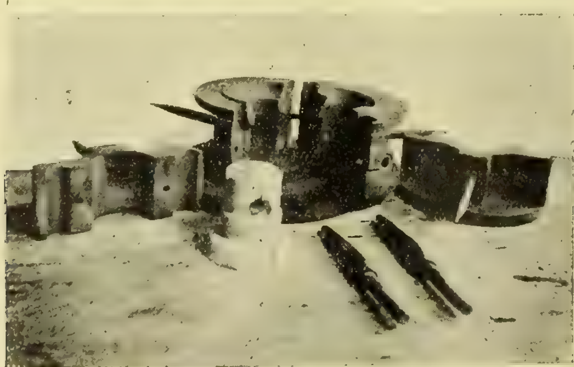


Fig. 10. — Piston de moteur (moule démonté).

Enfin, la coquille doit être assez chaude et sa température doit se rapprocher le plus possible de celle du métal.

Description de la coquille. — Le piston est coulé le fond en bas, cette partie du piston devant être la plus saine.

La coquille comprend simplement un socle, sur lequel est coulé le fond du piston avec son téton, et deux demi-chapes formant l'extérieur de la pièce; à leur partie

supérieure, elles sont usinées en forme de tronc de cône muni d'un repère pour recevoir la portée du noyau qui est, de cette façon, bien centré et bien en place. Deux broches traversant les chapes permettent de faire venir de fonderie les trous



Fig. 11. — Collier de la vis de commande d'accélérateur (Moule démonté, montrant la vis formant noyau).

des deux bossages. L'attaque et la remonte se font suivant deux génératrices diamétralement opposées et situées le plus près possible des bossages, de manière à



Fig. 12. — Collier de la vis de commande d'accélérateur (Coquille montée, pièce coulée).

les alimenter convenablement. Deux demi-chapes de coulée, surmontant les chapes de la coquille, permettent d'avoir sur le piston une charge suffisante.

4° *Coquille : Tableau d'éclairage, partie supérieure du couvercle.* — La coquille se compose d'un socle en fonte sur pieds et évidé dans son milieu pour recevoir

une plaque d'acier gravée permettant d'obtenir de fonderie les lettres et le quadrillage que présente la pièce du côté de sa face vue. Sur ce socle viennent se placer les deux demi-chapes de coulée à l'intérieur desquelles glisse le noyau qui forme les deux ouvertures circulaires de la pièce et tous les bossages, refroidis au moyen de broches qui le traversent sur toute sa hauteur.

C'est pour des raisons d'usinage et aussi pour que les lettres et le quadrillage en relief de la pièce viennent plus nettement, que la pièce est coulée à plat.

Il est intéressant de noter à ce sujet qu'il faut couler la pièce du côté des bossages pour éviter les retassures, et que, tout en coulant, il faut incliner la coquille pour que le métal monte bien en nappe horizontale et chasse ainsi l'air au fur et à mesure de son arrivée; sinon, la pièce est garnie de trous.

5e *Coquille : Collier de vis de commande d'accélérateur.* — La coquille se compose seulement de deux demi-chapes verticales épousant chacune en creux la moitié de la pièce. L'intérieur du collier est obtenu au moyen d'un noyau cylindrique. Cette coquille présente ceci de particulier qu'un autre noyau permet la venue de fonderie d'un trou à l'intérieur duquel se trouve un fort pas de vis; la pièce étant coulée, on divise le noyau du pas de vis qu'il a formé.

6e *Coquille : Moteur 4 cylindres 70-130, monobloc. Boîte de remplissage d'huile.* — Elle se compose d'un socle monté sur pieds, sur lequel viennent se placer deux demi-chapes formant l'extérieur de la pièce; elles sont surmontées elles-mêmes des deux demi-chapes de coulée, dans lesquelles glisse le petit noyau formant le trou de la bride. L'intérieur de la pièce est obtenu au moyen d'un noyau métallique à parties démontables, de la façon suivante : un noyau central, que l'on démoule par le bas à l'aide d'un levier et que l'on cale dans sa position de coulée à l'aide d'une broche, sert d'appui à six parties démontables épousant, lorsqu'elles sont toutes en place, la forme intérieure de la pièce; celle-ci étant coulée et les chapes dégagées, on démoule le noyau central, ce qui permet de retirer la pièce contenant encore les parties démontables, qui tombent d'ailleurs d'elles-mêmes, deux d'entre elles, plus petites et diamétralement opposées, offrant une dépouille suffisante vers l'axe de la pièce pour tomber les premières.

Remarques. — Les pièces décrites sont faites avec les alliages suivants :

Palier côté collecteur : alliage Aluminium-Cuivre.	Al = 94; Cu = 6
— de commande.	même alliage.
Piston : alliage Aluminium-Cuivre	Al = 88; Cu = 12
Couvercle du tableau d'éclairage : alliage Aluminium-Cuivre . .	Al = 94; Cu = 6
Collier de la vis de commande d'accélérateur.	même alliage.
Boite de remplissage d'huile. Métal blanc.	Al = 23 Sn = 9,75 Cu = 1,75 Zn = 65,50

20 juin 1921.

LÉON GUILLET.

L'EMPLOI DE L'ALUMINIUM EN ÉLECTRICITÉ (1)

MESSIEURS,

Les grands travaux d'intérêt national en projet dans le domaine de l'électricité. — Jamais, dans l'histoire économique des nations en général, et dans celle de la France en particulier, on n'a vu, en faveur d'une organisation nouvelle, un mouvement d'opinion et de faits aussi considérable que celui qui se manifeste en ce moment en faveur de la production et de la distribution de l'énergie électrique.

Le Parlement, les Pouvoirs publics, la presse, les associations savantes, les associations techniques, les syndicats professionnels, les initiatives privées, tous ces éléments rivalisent d'ardeur pour prêcher et encourager le rapide développement de notre richesse nationale hydraulique et la large diffusion de son énergie sur tout le territoire. Les journaux politiques et financiers, les revues techniques, les revues populaires mêmes, nous apportent chaque jour, des études, des projets, des idées. Des missions officielles et privées vont recueillir à l'étranger les leçons d'une expérience plus ancienne. Le mouvement est d'une ampleur imposante et telle qu'on n'en a jamais vu de semblable à propos de nos chemins de fer, de nos voies navigables, de nos ports ou de tous autres grands travaux d'intérêt national.

C'est qu'une perturbation, sans précédent dans l'histoire, est venue brutalement troubler le développement égal du progrès, l'harmonie satisfaisante des échanges, le rythme de la vie sociale.

Meurtrie, appauvrie et dépeuplée par une guerre d'agression, la France a aujourd'hui besoin de trouver en elle-même tous les éléments de son relèvement matériel. Développer l'emploi de nos richesses nationales et les mieux utiliser, telle est la doctrine qui s'impose à notre génération, tel est le but du suprême effort auquel nous assistons et qui n'est, comme on l'a dit, que la prolongation des activités de la guerre.

Comment mieux travailler dans cette voie qu'en organisant méthodiquement et avec esprit de suite la large distribution de l'énergie dans tout le pays.

On a dit et redit, et non sans raison, que c'était là le seul remède pour

(1) Conférence faite par l'auteur en séance publique le 23 mai 1921.

parer aux causes d'infériorité de notre situation économique puisque la force motrice est à la base de la vie moderne et du progrès social.

Mais cette force motrice est presque exclusivement tirée du charbon dont nous sommes pauvres et dont l'énergie potentielle est, vous le savez, si mal utilisée dans sa transformation en énergie mécanique.

Le déficit de notre production, qui était de 23 millions de tonnes en 1913, a passé à 28 millions de tonnes en 1919 et l'on estime qu'il sera de 37 millions de tonnes en 1930. Il faut donc économiser ce précieux combustible, non seulement en faisant disparaître tous les foyers dispersés, autant domestiques qu'industriels, de très mauvais rendement, dont nous disposons aujourd'hui, pour les remplacer par l'énergie de puissantes centrales modernes, brûlant des combustibles préalablement dévalorisés par l'extraction des agents chimiques précieux qu'ils renferment, mais encore en aménageant nos puissantes réserves d'énergie hydraulique.

L'énergie électrique, ainsi produite avec le maximum de rendement, soit dans nos bassins houillers, soit sur nos cours d'eaux, transportée et largement distribuée sur l'ensemble du territoire dans nos centres industriels, dans nos agglomérations urbaines et rurales, dans nos régions agricoles, en atténuant la crise de la main-d'œuvre, en déchargeant le trafic des voies terrestres, maritimes et fluviales d'un tonnage important, en surexcitant l'activité industrielle et agricole, enfin et surtout, en réduisant nos importations de charbon, sera un puissant facteur de notre relèvement.

On se trouve ainsi en présence d'un véritable problème national qui ne peut pas se résoudre avec économie d'une manière fragmentaire, qui exige un effort d'ensemble, une organisation des initiatives privées, et le concours de l'État.

L'initiative privée a fait, au cours de ces 25 dernières années, dans le domaine du transport de l'énergie, une œuvre remarquable. Seule, sans le concours d'aucune collectivité, sous l'œil indifférent des Pouvoirs publics, au milieu de difficultés innombrables, autant d'ordre public que d'ordre particulier, autant d'ordre financier et commercial que d'ordre technique, elle a équipé 35.000 km de lignes de transport à haute tension, 22.000 km de lignes à basse tension, pour distribuer 670.000 kW à 1.200.000 abonnés et immobilisé ainsi un capital de près de 2 milliards.

Elle est encore toute prête à poursuivre son œuvre, mais l'État a compris, devant les impérieuses nécessités de l'heure, qu'il ne pouvait continuer à demeurer passif et indifférent. Dès 1918, le Ministre des Travaux publics a institué au sein du Conseil supérieur des Travaux publics un Comité d'Études pour établir un plan de distribution d'énergie électrique à exécuter dans un délai de 15 à 20 ans, et en étudier les voies et moyens d'exécution.

Dans un rapport, récemment déposé, ce Comité, présidé par M. Monmerque, a estimé que la puissance des usines de distribution d'énergie, évaluée actuellement à 1.000.000 kW, dont 330.000 hydrauliques, pourrait atteindre, vers 1935, une puissance totale de 2.500.000 kW dont 1.200.000 hydrauliques. L'énergie hydraulique ainsi produite à cette date, estimée annuellement à 3.400.000.000 kWh, assurerait une économie annuelle de 5.000.000 t de houille, tandis que l'économie résultant de la substitution de grandes centrales aux multiples foyers de mauvais rendement actuellement existants, serait de 4.000.000 t. Ce serait donc une économie totale de 9.000.000 t de houille qui nous affranchirait d'une exportation annuelle de capitaux certainement supérieure à 500 millions de francs or.

Le Comité d'Études des Grands Réseaux a envisagé, pour le transport de l'énergie produite, la création d'un réseau à haute tension, dit superréseau, pour interconnecter les centrales et permettre entre elles les échanges d'énergie, soit en cas d'accident, soit en cas d'insuffisance d'eau, et améliorer ainsi l'utilisation de nos réserves hydrauliques. Il a aussi envisagé la création d'un réseau à tension moyenne pour la répartition du courant entre les postes de transformation du superréseau et les distributions locales.

Le tracé des lignes à haute tension projetées est reproduit sur la carte de France de la figure 1 (voir planche hors texte), au moins à titre d'avant-projet.

Il représente environ 15.000 km de lignes à 6 conducteurs sous des tensions allant de 45.000 à 150.000 V, suivant l'importance de la puissance à transporter et la distance du transport, et exceptionnellement à 220.000 V pour le transport à Paris des forces du Rhône et du Rhin. L'évaluation de la dépense correspondante, aux prix d'avant-guerre, est d'environ 750.000.000 francs, somme à laquelle il convient d'ajouter 1.200.000.000 francs pour les lignes de moyenne tension et 700.000.000 francs pour les distributions proprement dites.

Pendant ce même temps, un autre Comité du Conseil supérieur des Travaux publics étudiait, sous la présidence de M. Gab. Cordier, l'électrification des lignes ferrées d'intérêt général à réaliser dans le même délai de 15 à 20 ans. Limitant son étude aux réseaux des chemins de fer de Paris-Lyon-Méditerranée, du Midi et de Paris-Orléans, qui sont les mieux placés au point de vue de l'utilisation de l'énergie hydraulique, ce Comité a estimé à environ 9.000 km la longueur des lignes à électrifier, à 2 milliards de kilowatts-heure, l'énergie consommée dans une quinzaine d'années par ces voies électrifiées, et à environ 400 millions de francs, au prix d'avant-guerre, le coût des grandes artères d'alimentation, des lignes de contact et des feeders.

Le rôle de l'aluminium dans l'exécution des grands travaux d'intérêt national. — Je m'excuse, Messieurs, de ce préambule un peu long, qui semble étranger à la question de l'aluminium que je dois traiter devant vous, mais qui a pour objet de vous montrer de prime abord à quel grand problème d'intérêt national et d'impérieuse nécessité cette question se rattache, la rendant ainsi plus captivante. Je viens, en effet, de vous faire entrevoir l'importance économique et technique du transport et de la distribution de l'énergie électrique en France et l'ordre de grandeur des immobilisations qu'il doit entraîner au cours des 15 ou 20 années à venir. Or, on peut estimer que, dans la construction d'une ligne électrique, la dépense en métal conducteur du courant, représente en moyenne le tiers de la dépense totale. C'est dire que, si dans le vaste champ d'opération qui s'offre à l'industrie électrique, on borne ses vues aux seuls travaux de la construction des réseaux de transport et de distribution et de l'électrification des voies ferrées de trois compagnies seulement, ces travaux exigeront la mise en œuvre d'un tonnage de métal conducteur dont la valeur, estimée au cours d'avant-guerre, est d'environ 1 milliard de francs, mais qui, au cours sur lequel il est prudent, sans pessimisme, de compter désormais, atteindra vraisemblablement 2 milliards.

Ce métal conducteur peut être du cuivre ou de l'aluminium. Eh bien, Messieurs, si ce métal est du cuivre, ces 2 milliards de notre monnaie prendront le chemin de l'étranger. S'il est de l'aluminium, ils resteront en très grande partie chez nous, puisque l'aluminium, comme le fer, est, ainsi que M. Léon Guillet nous l'a dit dans sa magistrale conférence de samedi, un métal pour la fabrication duquel nous possédons en France les matières premières nécessaires (minerai et énergie hydro-électrique) et nous trouveront, dans cette recette intérieure, faite à propos d'une amélioration nationale, un nouveau motif de relèvement économique, un nouvel encouragement à notre industrie nationale.

Une pareille perspective mérite de retenir toute l'attention des intéressés, État, producteurs et consommateurs. Mais peut-elle être envisagée, en dehors de toute considération d'ordre patriotique, avec la certitude que ceux qui recherchent avant tout, et à juste titre, la ferte empreinte de la valeur technique et expérimentale, trouveront dans la substitution de l'aluminium au cuivre toutes les satisfactions auxquelles ils ont droit?

C'est ce que j'espère pouvoir vous prouver. Mais, pour faire cette preuve dans le peu de temps dont je dispose, j'ai dû m'imposer trois conditions.

La première, c'est de me borner à l'étude des conducteurs aériens, qui mettent d'ailleurs en œuvre les plus gros tonnages de métal, et dont l'emploi,

parmi toutes les applications de l'aluminium en électricité, reste à peu près le seul à soulever encore des objections et à provoquer des réserves.

La deuxième, c'est d'éviter d'entrer dans toute démonstration mathématique et même dans tout détail d'ordre scientifique dont vous avez d'ailleurs déjà vu apparaître les plus importants, tous ceux qui caractérisent les propriétés chimiques, physiques et mécaniques de l'aluminium, dans la conference de M Léon Guillet.

La troisième enfin, c'est de m'appuyer surtout sur des travaux bien connus et sur le faisceau déjà puissant des résultats pratiques. Et, en m'imposant cette dernière condition, je me suis souvenu que, vers 1913, un ingénieur allemand, en analysant un modeste ouvrage que je venais de faire paraître, m'appelait. dans l'*Elektro-technische Zeitschrift,* le fanatique de l'aluminium. Je n'ai pas été fâché de ce qualificatif car il m'a engagé, pour tout ce qui touche à l'aluminium, à me méfier de moi-même et à penser qu'il était bon souvent, pour assurer le succès de la moisson, de regarder dans le champ du voisin. C'est ce que je ferai aujourd'hui.

Les débuts de l'aluminium en électricité. — Le cuivre est depuis si longtemps le seul métal de l'industrie électrique que son nom est devenu synonyme de *conducteur* et qu'il n'est question partout, dans le langage technique que de « poids du cuivre » pour poids du métal conducteur, de « pertes dans le cuivre », « d'échauffement du cuivre », etc... Et cependant, il a fallu plus de 30 ans d'efforts pour que le cuivre, en raison de ses constantes physiques, et aussi de ses imperfections originelles, soit admis dans la construction des lignes télégraphiques aériennes à côté du fer.

On ne peut donc être surpris, *a priori* et en dehors de toute autre considération, de voir l'aluminium assujetti à la loi commune, et ses producteurs tenus à tant d'efforts et à tant d'obstination pour vaincre la résistance de tous ceux que cette innovation venait troubler dans leur tradition.

Jusqu'en 1908 l'aluminium n'a pas d'existence officielle : c'est un déclassé qui s'introduit timidement, et Dieu sait avec quelle peine, chez les exploitants les plus audacieux et que l'Administration tolère assez mal dans les distributions d'énergie. Mais, déjà à cette date, les résultats sont assez probants pour qu'une circulaire du Ministre des Travaux publics l'admette dans les traversées de chemins de fer. En 1913, les Chemins de fer de l'État lui font, dans leur cahier des charges, une place équivalente à celle du cuivre. La même année, la Société des Électriciens allemands déclare, dans ses nouvelles règles d'établissement des canalisations aériennes, que l'aluminium est, comme le cuivre, *un métal normal.* Enfin, en 1917, l'Union des Syndicats de l'Électricité charge une commission, sous la haute prési-

dence de M. Legouëz, de procéder à une étude attentive des propriétes de l'aluminium et des résultats acquis dans les installations existantes, et d'élaborer les conditions d'emploi de ce métal en électricité.

Les travaux de cette Commission se poursuivirent pendant près de deux années et aboutirent en 1919 à la publication d'un important rapport qui constitue à la fois un véritable traité de l'aluminium et un guide dans les méthodes d'emploi.

L'ingénieur y trouvera tous les éléments nécessaires, d'une part à fortifier sa confiance et, d'autre part, à lui permettre de dresser ses projets et de chiffrer ses devis.

Je me bornerai à faire ici devant vous, Messieurs, une analyse sommaire de ce travail.

Comparaison technique et économique de l'aluminium et du cuivre. — Après avoir rappelé que les mécomptes subis lors des premiers essais étaient dus à la composition chimique du métal et aux mauvaises méthodes d'emploi des produits fabriqués, la Commission, guidée par les résultats de l'expérience acquise à ce jour, définit les propriétés de l'aluminium industriel qui doit satisfaire aux exigences de l'industrie de l'électricité.

Un métal trop pur n'aurait pas assez de ténacité, un métal trop impur n'aurait pas une conductibilité électrique suffisante. La dose optimum d'impuretés (Fe, Si, C et O) a été ainsi fixée à 1 p. 100, étant entendu que le sodium, facteur probable de l'altération du métal, ne serait jamais en quantité perceptible à l'analyse chimique. A cette dose d'impuretés, correspond une résistance mécanique, à l'état recuit, de 8,5 à 9 kg : mm^2 et une résistivité de 2,89 μO : cm à 20°. Si le métal est écroui, la résistance mécanique peut atteindre, pour des fils de 1,5 à 2 mm, c'est-à-dire fortement écrouis par le tréfilage, 20 à 22 kg : mm^2 tandis que la résistivité s'accroît légèrement, de 1 p. 100 environ, et passe à 2,95 μO : cm.

On trouve de suite dans ces chiffres et dans ceux d'un tableau comparatif très complet des propriétés mécaniques et électriques de l'aluminium commercial et du cuivre commercial (Tableau I), tous les éléments permettant d'établir la comparaison entre les deux métaux au point de vue mécanique, au point de vue électrique et, partant, au point de vue économique. On voit ainsi que le rapport du poids de l'aluminium au poids du cuivre est de 30 à 100 à égalité de section des conducteurs, de 42 à 100 à égalité d'échauffement et de 50 à 100 à égalité de conductibilité, et que, par conséquent, si le rapport du prix de l'aluminium au prix du cuivre est de 1,5 par exemple, comme il était en moyenne à la veille de la guerre, la substitution de l'aluminium au cuivre procure une économie, dans les frais d'achat de métal

conducteur, de 55 p. 100 si les conducteurs ont même section, de 37 p. 100 s'ils sont calculés pour un même échauffement et de 25 p. 100 s'ils sont calculés pour une même conductibilité.

Dans le prix global d'une installation, ce taux d'économie pourra être légèrement modifié dans un sens ou dans l'autre, suivant la nature des ouvrages, et cela en raison de la différence des sections et des charges de rupture des deux conducteurs de métaux différents qui impliquent des fatigues différentes de la matière et des dimensions d'ouvrages différentes. Mais d'une manière générale, dans l'ensemble d'un ouvrage, l'emploi de l'aluminium conduisait toujours, avant la guerre, à une économie appréciable.

Dans la situation troublée que nous traversons, en présence de la variation fébrile des cours, la comparaison que l'on peut établir n'a pas grande valeur. Cependant, à l'heure où je parle, le rapport des cours n'est pas éloigné de 1,5, de sorte que l'économie actuelle serait encore celle que je viens d'indiquer.

Au point de vue technique, les éléments fournis par le Rapport de la Commission de l'Union des Syndicats permettent de poursuivre la comparaison sur tous les terrains. On peut dire, d'une manière générale, qu'au point de vue purement électrique, toutes les fois qu'il n'est pas question de résistance mécanique, l'aluminium est franchement supérieur au cuivre. C'est ainsi que, en raison du moindre échauffement sous le passage du courant électrique, les conducteurs d'aluminium pourront supporter, avec des risques moindres, des surcharges supérieures à celles des conducteurs en cuivre, que l'effet de couronne et la contrainte du diélectrique qui en résulte seront moindres, que l'inductance à égalité de conductibilité est moindre et la capacité plus grande, que les courants de Foucault sont moindres. Les électriciens savent bien que ces différences ont pour résultat des avantages appréciables dans le bon fonctionnement, soit des connexions intérieures d'usines, soit des gros feeders de traction, soit des câbles isolés, soit des lignes à très haute tension.

Si l'aluminium semble présenter quelque désavantage, c'est que, du fait de ses constantes physiques, densité, coefficient de dilatation, élasticité, charge de rupture, limite d'élasticité, sensiblement différentes de celles du cuivre, les conducteurs suspendus d'aluminium ne se comportent pas, sous l'influence des mêmes effets extérieurs, variations de température, surcharges du vent, etc... de la même façon que les conducteurs de cuivre. Si l'on veut avoir la même sécurité sous l'effet de surcharges données, par exemple les surcharges fixées administrativement par le règlement technique du 21 mars 1911, il faut consentir au conducteur d'aluminium, à égalité

TABLEAU I. — TABLEAU COMPARATIF DES PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES ET ÉLECTRIQUES DE L'ALUMINIUM COMMERCIAL ET DU CUIVRE COMMERCIAL.

	ALUMINIUM COMMERCIAL	CUIVRE COMMERCIAL
Densité : métal écroui	2,7	8,95
Point de fusion	657°	1 082°
Chaleur spécifique (eau = 1)	0,203	0,092
Conductibilité thermique (argent = 100)	35	70
Résistivité à 0° en microhms par centimètre (cuivre type recuit, à 20° = 1,7241) (étalon Mathiessen = 1,593) :		
A 0° recuit	2,68	1,60
A 0° écroui	2,722	1 63
A 20° recuit	2,89	1,72
A 20° écroui	2,95	1,76
Coefficient de température	0,00419	0,0039
Conductibilité électrique	60	100
Perméabilité magnétique	1	1
Coefficient de dilatation linéaire	0,0000228	0,000016
Tension de rupture en (kilogrammes par millimètre carré) recuit	9	22
Tension de rupture en (kilogrammes par millimètre carré) écroui	20	42
Limite d'élasticité (en kilogrammes par millimètre carré)	11 à 12	23 à 25
Coefficient d'allongement	0,000148	0,000078
Module d'Young (en kilogrammes par millimètre carré)	6,750	13,000
Allongement à la rupture du métal écroui	2 p. 100	2 p. 100
Allongement à la rupture du métal recuit	25 p. 100	35 p. 100
Rapport des sections à égalité de conductibilité	1,666	1
— des diamètres à égalité de conductibilité	1,29	1
— des poids à égalité de conductibilité	50,25	100
— des sections à égalité d'échauffement	1,405	1
— des poids à égalité d'échauffement	42	100
— des conductibilités à égalité de section	0,6	1
— des poids à égalité de section	30	100
Poids d'un fil par millimètre carré de section et par kilomètre de longueur (en kilogrammes)	2,7	8,95
Poids, en kilogrammes, d'un fil de diamètre D (en millimètres)	2,12 D^2	7 D^2
Poids d'un câble par millimètre carré de section utile et par kilomètre de longueur (en kilogrammes)	2,84	9,4
Résistance kilométrique à 0° (en ohms) :		
d'un fil écroui de S mm^2 de section	$\frac{I}{S} \times 27,22$	$\frac{I}{S} \times 16,3$
— de D mm de diamètre	$\frac{I}{D^2} \times 34,4$	$\frac{I}{D^2} \times 20,75$
d'un câble de S mm^2 de section	$\frac{I}{S} \times 28,6$	$\frac{I}{S} \times 17,2$
Effort maximum d'un conducteur suspendu (en kilogrammes) avec le coefficient de sécurité = 3	6,7	14

	ALUMINIUM COMMERCIAL	CUIVRE COMMERCIAL
Avec le coefficient de sécurité = 5	4	8,5
— — = 10	2	4,25
Tension de l'effet de couronne à égalité de conductibilité (en volts)	1,20 × n	n
Self-induction relative à égalité de conductibilité	0,93 — 0,97	1
Capacité relative à égalité de conductibilité	1,08 — 1,03	1
Puissance relative développée par les courants de Foucault par unité de volume	0,66	1

de portée, des flèches plus grandes qu'au conducteur de cuivre. Mais, en pratique, pour les portées considérées jusqu'à ce jour comme normales, 50 à 80 m, il n'en résulte pas de modification appréciable dans les dispositions et le prix des supports.

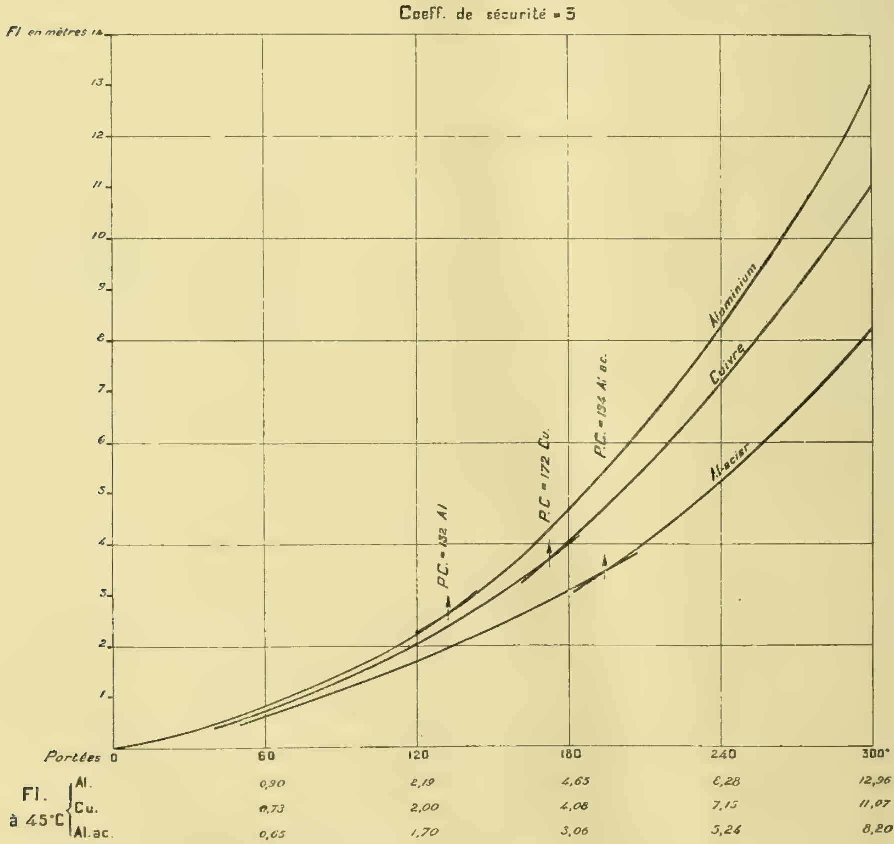
Ce n'est que dans les grandes portées de 100, 150, 200 m, et même davantage, qui deviennent la pratique courante des grandes lignes modernes, que les supports de câbles d'aluminium devront être, à égalité de portée, plus hauts que ceux des câbles de cuivre. Ainsi pour que, sur une portée de 180 m, deux câbles de même conductibilité, l'un en aluminium de 153 mm^2, l'autre en cuivre de 92 mm^2, subissent tous deux la même fatigue, celle prévue par le règlement du 21 mars 1911, il faut que la flèche maxima du câble de cuivre soit de 4,08 m et celle du câble d'aluminium de 4,65 m. Il est vrai, je m'empresse de le dire, que ce n'est pas d'une façon aussi simpliste que doit se traiter la question de la comparaison économique des deux métaux dans la construction d'une ligne donnée, mais en recherchant la portée économique et en adoptant, pour chaque métal, la portée optima qui lui convient. On atténue ainsi considérablement le désavantage apparent des plus grandes flèches de l'aluminium et l'on peut même, dans certains cas, faire ressortir une économie supplémentaire importante.

Mais il existe, pour les lignes modernes à grande portée, une solution bien plus avantageuse par l'emploi des câbles d'aluminium armés d'une âme d'acier. Ces câbles ont fait, eux aussi, l'objet des études de la Commission de l'Aluminium.

Ces conducteurs sont constitués par une âme en acier doublement galvanisé, de haute résistance mécanique, sur laquelle sont câblés, en une ou plusieurs couches, les fils d'aluminium. Ils se font normalement à 7 brins avec fil central en acier ou à 37 brins avec 7 fils centraux en acier, mais d'autres combinaisons sont possibles. La Commission s'est arrêtée à ces deux types et, cherchant à les assimiler à un métal homogène, en a fixé les carac-

téristiques électriques et mécaniques, ce qui permet de résoudre tous les problèmes techniques relatifs à l'emploi de ces conducteurs et de faire toute comparaison au point de vue économique avec les conducteurs équivalents en cuivre ou en aluminium (Voir Tableau II).

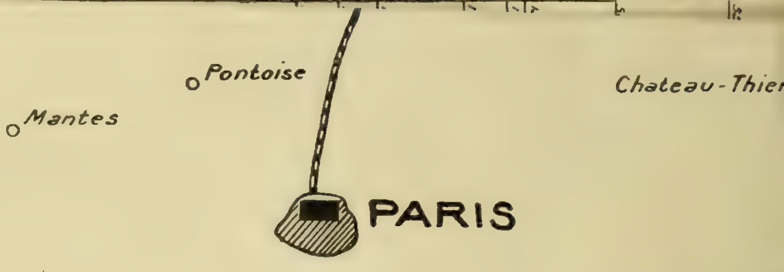
Il m'est absolument impossible d'entrer ici dans les intéressants détails



Portées	0	60	120	180	240	300
Fl. à 45°C Al.		0,90	2,19	4,65	8,28	12,96
Cu.		0,73	2,00	4,08	7,15	11,07
Al.ac.		0,65	1,70	3,06	5,24	8,20

Fig. 2. — Flèches maxima à 45° de câbles équivalents en cuivre, en aluminium et en aluminium-acier.

techniques qui caractérisent ces câbles d'aluminium armés. Je me bornerai à vous dire, reprenant l'exemple de tout à l'heure, relatif à une portée de 180 m, que le câble d'aluminium armé, équivalent au câble de cuivre de 92 mm², dont la flèche maxima est de 4,08 m, et au câble d'aluminium de 153 mm², dont la flèche maxima est de 4,65 m, aura une section de 189 mm² et une flèche maxima de 3,06 m seulement.

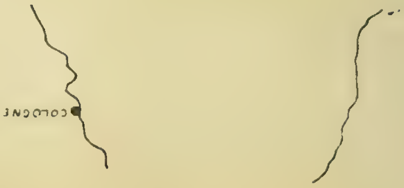


LÉGENDE

Réseau d'Etat		120 000 volts
Réseau d'Etat		65 000 volts
Réseau d'Etat		45.000 volts
Reseau d'Etat		30.000 volts
Lignes existantes		120 000 volts
Lignes existantes		65000 . 45000 . 30000 volts

EN ALSACE-LORRAINE

Lignes existantes	65 000
Lignes projetées à construire	
Organisme collectif de transport	120 000 volts



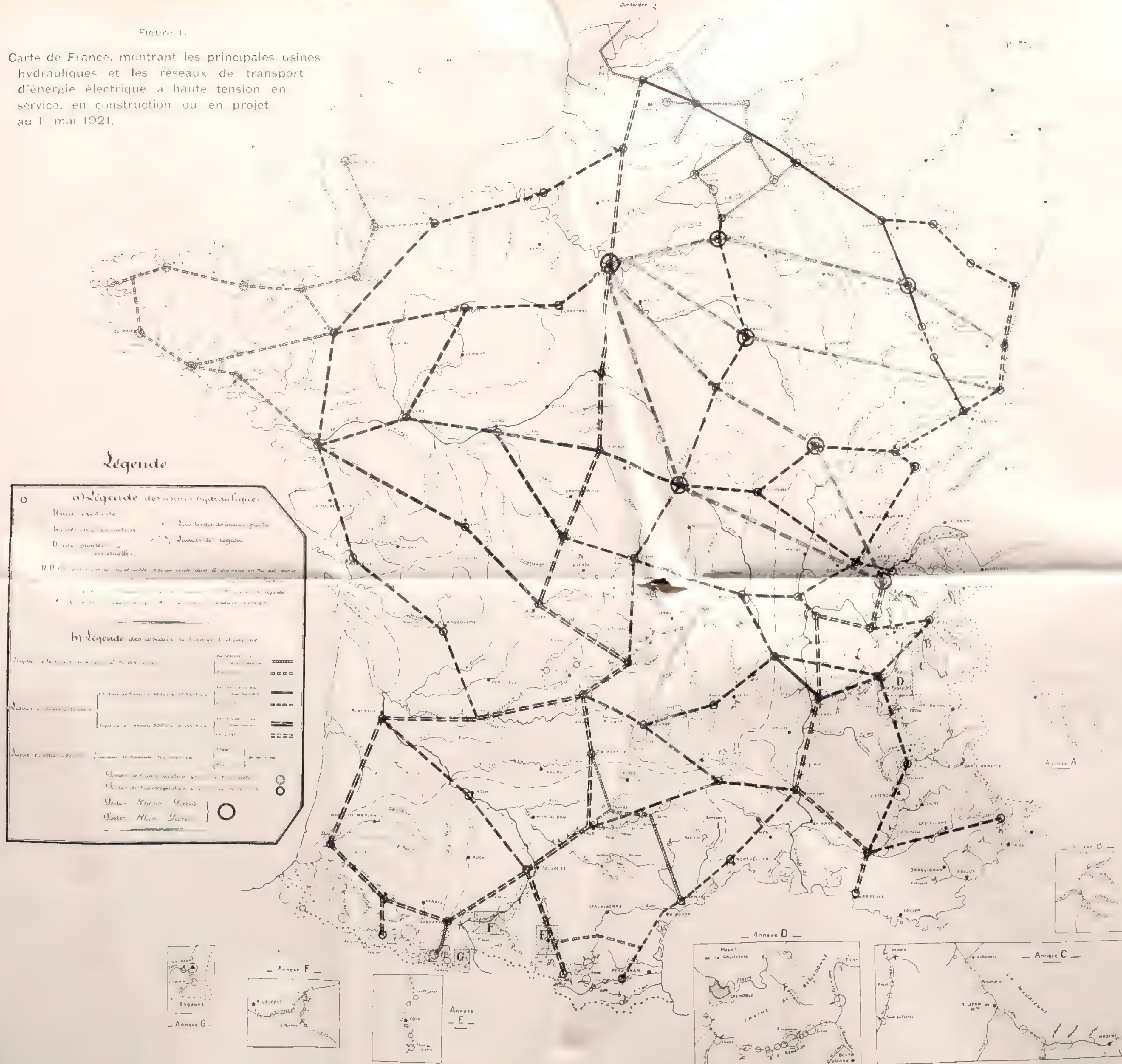


Figure 1.

Carte de France, montrant les principales usines hydrauliques et les réseaux de transport d'énergie électrique à haute tension en service, en construction ou en projet au 1er mai 1921.



Figure 14.

Projet de reconstitution de transport d'énergie dans les Régions dévastées du Nord et de l'Est de la France.

(Établi au 1er mai 1920)

Figure 14.

jet de reconstitution de transport 'énergie dans les Régions dévastées u Nord et de l'Est de la France.

(Établi au 1er mai 1920)

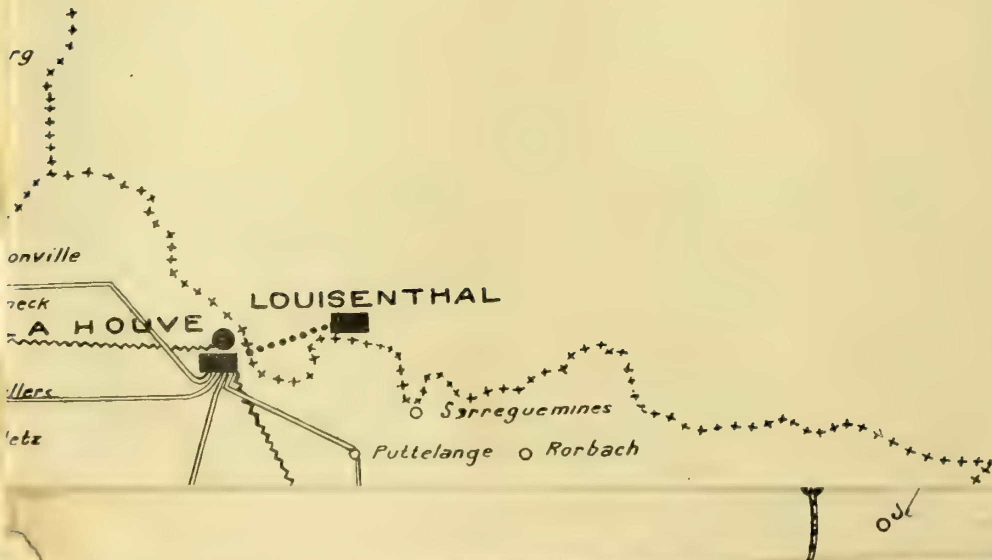
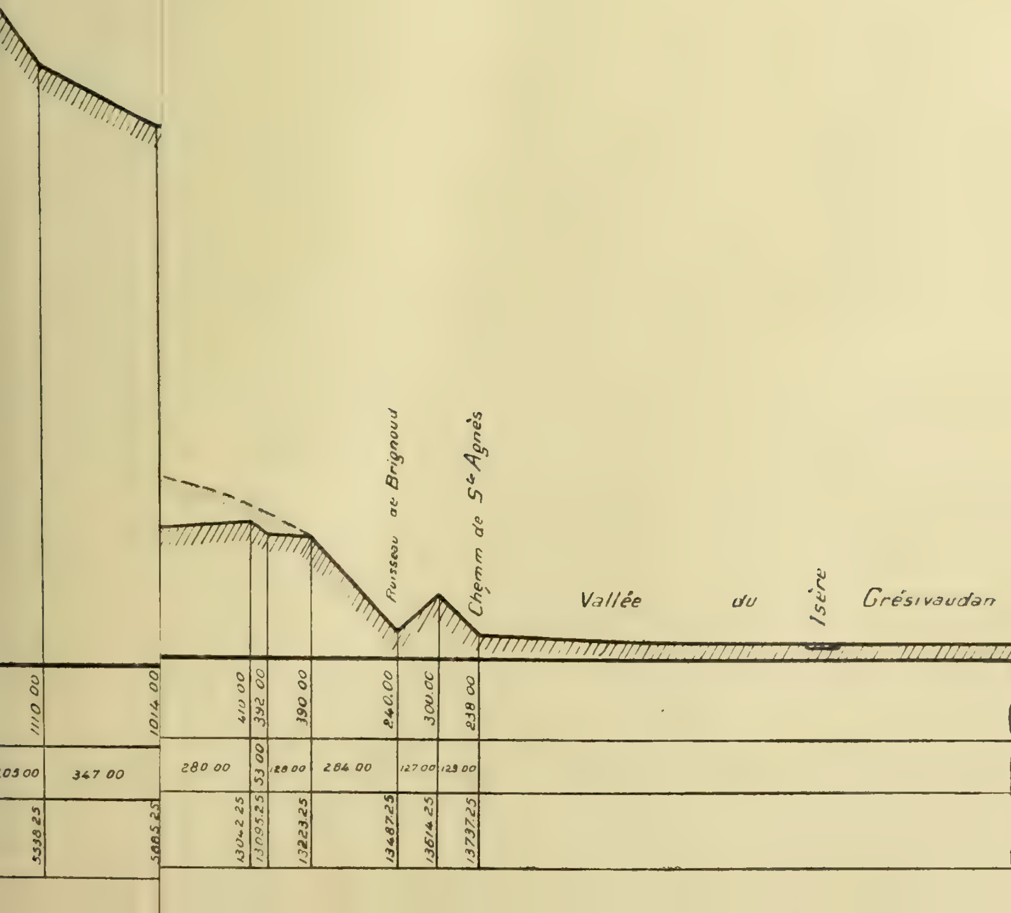


Figure 3.

A LIGNE DU PAS DE LA COCHE

-électrique de l'Eau d'Olle)



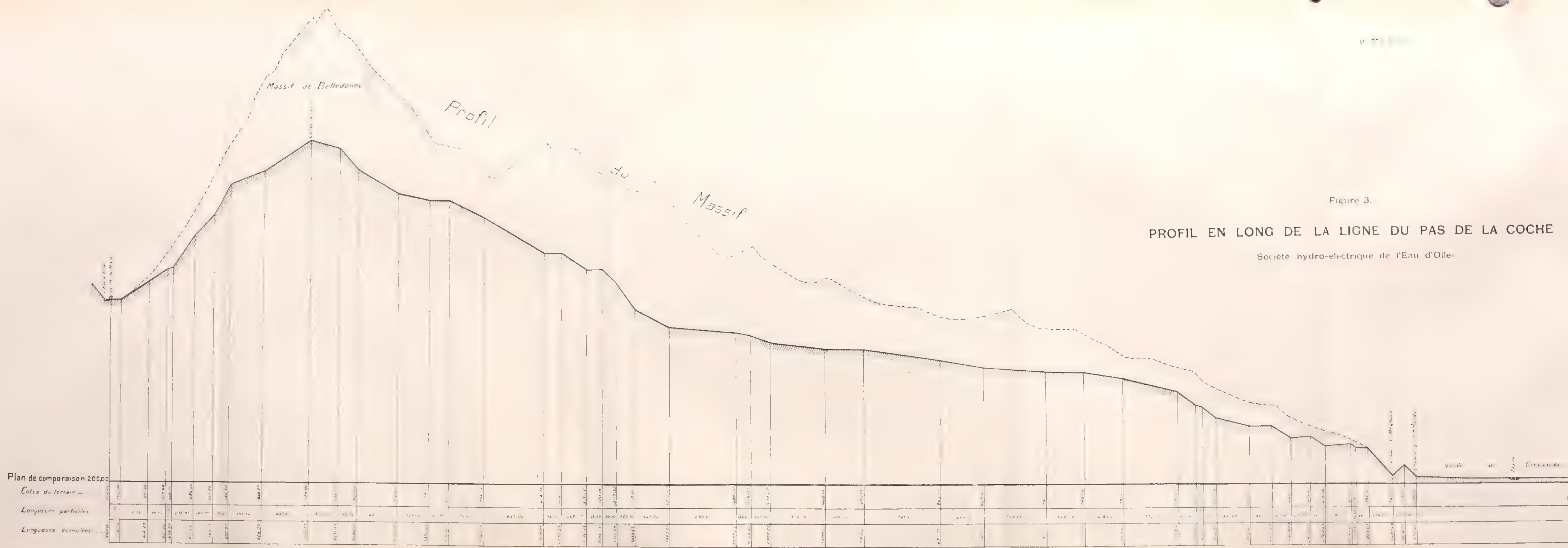


Figure 3.

PROFIL EN LONG DE LA LIGNE DU PAS DE LA COCHE

Société hydro-électrique de l'Eau d'Olle

TABLEAU II. — COMPARAISON DES PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES ET ÉLECTRIQUES DE L'ALUMINIUM COMMERCIAL, DU CUIVRE COMMERCIAL, DE L'ALUMINIUM-ACIER A 7 BRINS, ET DE L'ALUMINIUM-ACIER A 37 BRINS.

	ALUMINIUM COMMERCIAL	CUIVRE COMMERCIAL	ALUM.-ACIER, A 7 BRINS	ALUM.-ACIER, A 37 BRINS.	ACIER
Poids spécifique (en grammes par centimètre cube)	2,7	8,95	3,55	3,85	7,80
Conductibilité électrique (relative)	60	100	51,5	49	0 (1)
Coefficient de dilatation linéaire	$22,8 \times 10^{-6}$	16×10^{-6}	$18,2 \times 10^{-6}$	$17,25 \times 10^{-6}$	$11,5 \times 10^{-6}$
Tension de rupture (en kilogrammes par millimètre carré)	20	42	29	32	100 à 120
Limite d'élasticité (en kilogrammes par millimètre carré)	11 à 12	23 à 25	16	17 à 18	90 à 95
Coefficient d'allongement. { massif	148×10^{-6}	78×10^{-6}			
Coefficient d'allongement. { câble	185×10^{-6}	97×10^{-6}	127×10^{-6}	115×10^{-6}	$45,4 \times 10^{-6}$ au max. (2)
Module d'élasticité (en kilogrammes par millimètre carré) { massif	6 750	13 000	—	—	22 000 au minimum.
Module d'élasticité (en kilogrammes par millimètre carré) { câble	5 400	10 300	7 850	8 680	
Rapport des sections à égalité de conductibilité	1,666	1	1,913	2,05	
— des diamètres — —	1,29	1	1,395	1,43	
— des poids — —	0,5	1	0,73	0,835	
Poids d'un câble (en kilogrammes, par millimètre carré de section totale et par kilomètre de longueur)	2,84	9,4	3,55	3,85	
Résistance kilométrique à 0° (en ohms) d'un câble de S mm² de section	$\frac{28,6}{S}$	$\frac{17,2}{S}$	$\frac{33,4}{S}$	$\frac{35,2}{S}$	
Tension maxima (en kilogrammes par millimètre carré) d'un conducteur suspendu.					
Avec coefficient de sécurité = 3	6,7	14	9,7	10,7	
— — = 5	4	8,5	5,8	6,4	
— — = 10	2	4,25	2,9	3,2	
Tension critique (en volts) produisant l'effet de couronne, à égalité de conductibilité	$1,20 \times n$	n	$1,23 \times n$	$1,27 \times n$	

(1) On ne tient pas compte de la présence de l'acier, au point de vue de la conductibilité électrique, dans les câbles aluminium-acier.

(2) L'accroissement du module d'élasticité de l'acier augmente la résistance mécanique du câble en faisant supporter à l'âme d'acier une part plus grande de la tension totale.

Le graphique de la figure 2 donne d'ailleurs les flèches de ces 3 conducteurs pour toutes portées jusqu'à 300 m.

Vous remarquerez que ces courbes ne sont pas continues et, bien que je me sois interdit toute incursion dans le domaine mathématique, je dois vous en donner la raison.

Le règlement français du 21 mars 1911 a imposé le calcul des conducteurs aériens, au point de vue mécanique, dans 2 hypothèses différentes, l'une de grand froid et l'autre de grand vent. Le calcul des flèches, dans l'hypothèse de grand froid, donne, en fonction des portées, une courbe parabolique et, dans l'hypothèse de grand vent, une autre courbe parabolique. Ces deux courbes, qui passent toutes deux par l'origine des coordonnées, se coupent en un point qui correspond à la portée (portée critique) pour laquelle les deux hypothèses ont la même influence sur le conducteur. Comme le règlement impose l'hypothèse la plus défavorable, c'est-à-dire celle à laquelle correspond la plus grande flèche, le graphique final se composera des deux tronçons supérieurs des courbes.

Vous voyez donc, par l'examen de ce graphique, que le câble aluminium-acier donne, au point de vue mécanique, la solution économique et rationnelle des grands transports d'énergie dans la construction desquels on doit s'efforcer, par l'emploi des grandes portées, de diminuer autant que possible le nombre des isolateurs qui sont le point faible des lignes électriques, les occupations de terrain qui coûtent fort cher, les angles du tracé et enfin les trop grandes flèches qui nuisent à la rigidité et à la tenue de l'ensemble des ouvrages.

Le câble d'aluminium armé, dont le diamètre à égalité de conductibilité dépasse de 10 p. 100 celui de l'aluminium et de 40 p. 100 celui du cuivre, donne aussi la solution économique rationnelle des grands transports d'énergie au point de vue électrique puisque, pour un écartement et un voltage donnés, le voltage critique ou tension d'effluves, croît, suivant une fonction assez complexe donnée par Peek, avec le rayon du conducteur.

Les câbles aluminium-acier sont déjà employés depuis plusieurs années dans les grands réseaux américains dont je citerai quelques-uns tout à l'heure. Il n'a nulle part été constaté, ce que l'on paraissait beaucoup redouter, d'attaque électrolytique entre l'aluminium et l'acier galvanisé. Ceci tient certainement d'une part au faible écart qui sépare l'aluminium du zinc dans la série électrolytique et, d'autre part, à l'étanchéité parfaite, sous l'effort de la tension mécanique, de la couche d'aluminium qui maintient l'âme d'acier à l'abri de toute humidité.

En Europe, il existe quelques lignes d'aluminium armé; quelques-unes

en Allemagne, sur lesquelles je n'ai pas de renseignements précis, et une ligne en France que je connais bien pour l'avoir fait construire moi-même pendant la guerre dans le but de transporter, sous la tension de 60.000 V et par le chemin le plus court, l'énergie de l'usine hydro-électrique du Rivier sur l'Eau d'Olle, affluent de la Romanche, aux usines de guerre de Brignoud, dans la vallée de l'Isère, à 20 km de Grenoble. Par les voies habituelles, c'est-à-dire en suivant les vallées, il eût fallu près de 80 km de ligne pour

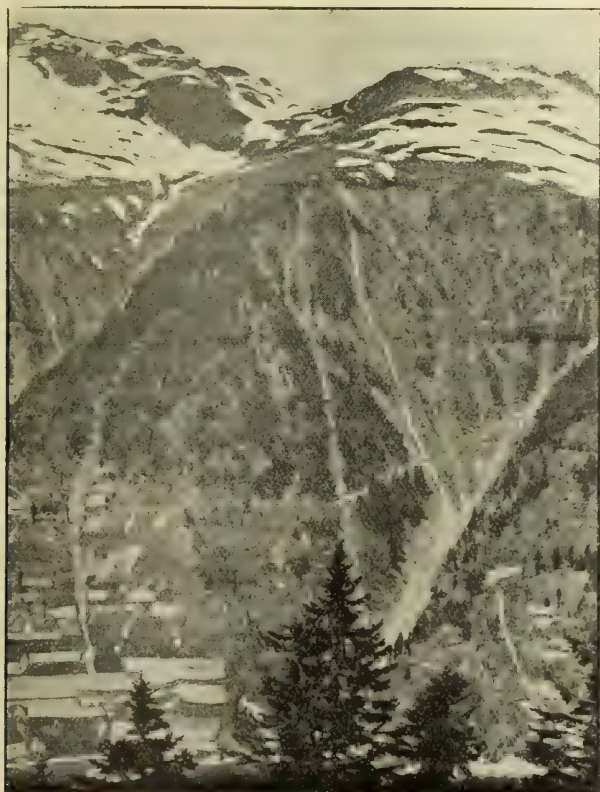


Fig. 4. — Vue générale de la ligne, versant Eau d'Olle.

relier les centres de production et de consommation et les difficultés, soit de passage, soit d'approvisionnement de matériel, en eussent rendu l'exécution à peu près impossible. Par la montagne, le trajet était réduit à 15 km, mais il fallait monter à 2.000 m d'altitude au col de la Coche, dans le massif de Belledonne, pour redescendre à 240 m, dans la Vallée du Grésivaudan (fig. 3, planche hors texte).

A 2.000 m, en ce point des Alpes, les actions atmosphériques sont exceptionnelles, la température descend à — 35° et le vent souffle avec une très

grande violence. J'ai pensé que le câble d'aluminium armé me donnerait toute satisfaction et j'ai fait construire la ligne avec 6 conducteurs dont 3 de 88 mm² de section et 3 de 112 mm². Depuis 3 ans que cette ligne est en service, son fonctionnement a été si satisfaisant, malgré les dispositifs de fortune qu'il a fallu employer, faute de mieux, pendant la guerre, que l'on peut affirmer maintenant le parfait fonctionnement des câbles mixtes aluminium-acier dans nos régions. Les figures 4 à 13 montrent différents



Fig. 5. — Vue générale de la ligne, versant Isère.

points de ce transport d'énergie et différentes phases de sa construction.

Il n'est pas impossible, ainsi que je le disais il y a un an, à l'École supérieure des Postes et Télégraphes, que le câble aluminium-acier puisse aussi trouver emploi dans les grands réseaux télégraphiques et téléphoniques aériens. Au point de vue mécanique, il donnerait les meilleurs résultats. Au point de vue électrique, la question est un peu plus complexe car, sous le passage des courants de haute fréquence utilisés dans la télégraphie et la téléphonie multiples, dont la périodicité peut atteindre 500.000 alternances

à la seconde, les conducteurs câblés ne se comportent évidemment pas comme les fils conducteurs cylindriques massifs. Si le contact électrique était parfaitement assuré entre chaque brin, le courant se localiserait dans une pellicule périphérique de telle façon que l'utilisation de la section du câble serait probablement plus mauvaise que celle d'un fil, mais on peut se demander si la pellicule d'alumine qui recouvre naturellement les fils d'aluminium et que l'on pourrait au besoin renforcer artificiellement, ne permettrait pas, en isolant électriquement les brins entre eux, de constituer des



Fig. 6. — Transport du câble et des isolateurs.

conducteurs aériens extrêmement favorables à la transmission des courants de haute fréquence. Ce sujet intéressant mérite de faire l'objet d'une étude expérimentale approfondie.

La technique de l'aluminium. — La Commission de l'Aluminium ne s'est pas contentée de mettre en lumière les qualités techniques et économiques de l'aluminium, elle a encore voulu fournir aux exploitants, afin de leur éviter les erreurs et les échecs, deux choses essentielles : d'abord un cahier des charges précisant la qualité du métal à employer et les conditions de réception à observer, et ensuite un guide pour l'emploi de ce métal dont la nature spéciale exige, de toute évidence, des méthodes de mise en œuvre différentes

de celles du cuivre. C'est l'oubli de ce détail qui a en effet été la cause de la très grande majorité des échecs qui ont été enregistrés et des découragements qui en ont été la conséquence.

Parce que l'aluminium est moins dur que le cuivre, parce qu'il est plus léger, parce qu'il fond à température plus basse, enfin parce qu'il est plus élastique et plus dilatable, on dit que l'aluminium est plus fragile que le cuivre, non pas plus fragile dans le sens scientifique que nous a donné M. Guillet, mais dans son sens vulgaire, et beaucoup d'esprits superficiels s'en tiennent à ce qualificatif pour le condamner. Mais chacune des conséquences des constantes physiques particulières de l'aluminium peut, si elle est fâcheuse, être combattue par une technique spéciale, de même qu'il a bien fallu inaugurer, quand on a voulu le substituer au fer, une technique spéciale du cuivre, plus fragile lui aussi que son prédécesseur.

La faible dureté de l'aluminium exige dans les manipulations quelques outils et quelques soins spéciaux. En très peu de temps, le moins intelligent des monteurs a appris à faire le nécessaire. Cette même particularité prescrit, il est vrai, l'emploi des conducteurs d'aluminium massifs, chez lesquels toute entaille, toute blessure peut rapidement devenir mortelle, mais les conducteurs massifs en cuivre ne sont pas eux-mêmes à recommander et, en fait, on ne les rencontre plus que rarement dans les installations modernes et plus du tout dans les lignes à grande section.

La plus grande facilité de fusion de l'aluminium est automatiquement combattue par la plus grande surface des conducteurs qui rayonne plus de chaleur et j'ai démontré, il y a une douzaine d'années déjà, par des expériences que vous retrouveriez décrites dans la *Revue Électrique* du 28 février 1909, qu'un conducteur d'aluminium soumis à un arc, par exemple sur un isolateur fêlé, accident particulièrement redoutable, ne met pas plus de temps, pour fondre, que le conducteur de cuivre équivalent. D'ailleurs, il est extrêmement facile de protéger tous les conducteurs contre les accidents de ce genre en les enveloppant, au droit de l'isolateur, dans une fourrure constituée par un simple déchet de fil entouré en hélice. Ce dispositif, souvent peu apprécié parce qu'il ne coûte rien, a été employé dans la nouvelle ligne à 45.000 V, en aluminium, de Jeumont à Valenciennes, et il a plusieurs fois agi efficacement; à la suite de rupture d'isolateurs, la fourrure a été endommagée mais le câble est resté absolument intact.

La légèreté de l'aluminium, qui constitue le grand avantage au point de vue économique, peut être un inconvénient au point de vue de la bonne tenue des lignes sous l'effort du vent, car le déplacement pendulaire des conducteurs d'aluminium est plus grand que ceux du cuivre, mais si l'on a soin d'établir préalablement l'épure du balancement, il est ensuite facile, par une

disposition approprié des supports, de se mettre en garde contre ses conséquences.

Enfin, la plus grande élasticité et la plus grande dilatabilité se traduisent par des variations de flèche dont il est également facile de tenir compte dans la disposition des supports. Je dirai même que la grande élasticité permet aux conducteurs d'aluminium de subir momentanément des surcharges excessives qui provoqueraient la rupture du cuivre et c'est probablement pourquoi on a plusieurs fois constaté, en France et au Canada, lors de grandes



Fig. 7. — Transport du câble.

chutes de neige ou d'ouragans violents, des conducteurs de cuivre rompus à côté de conducteurs d'aluminium indemnes.

On a aussi incriminé la difficulté que l'on éprouve à souder l'aluminium. M. Guérin vous dira dans sa conférence qu'il existe aujourd'hui des procédés de soudure absolument parfaits et que, par conséquent, rien ne s'oppose à ce que les conducteurs électriques soient soudés quand ils doivent l'être. Mais je rappellerai qu'il ne faut jamais souder les conducteurs aériens, quels qu'ils soient, pour ne pas altérer leur résistance mécanique. La jonction des conducteurs aériens d'aluminium et d'aluminium-acier se fait donc aussi facilement, à l'aide des manchons souples, que celle des conducteurs de cuivre.

Les réseaux d'aluminium français. — Et pour corroborer tous ces dires,

je n'ai plus maintenant qu'à faire appel au témoignage de l'expérience. C'est encore la Commission de l'Aluminium qui m'en fournit les moyens car, pour compléter son œuvre, elle n'a pas manqué de citer les nombreuses lignes existantes en France, dont les plus anciennes ont 20 ans d'existence, qui ont résisté à l'épreuve du temps et des climats les plus variés. Ce sont celles de l'Énergie Électrique du Littoral méditerranéen, de la Compagnie Électrique de la Loire et du Centre, de l'Énergie électrique du Nord de la France, des Chemins de fer de l'État, de la Société d'Électricité de la Vallée du Rhône, du



Fig. 8. — La ligne à 2.000 m d'altitude.

Sud-Électrique, de l'Énergie Électrique du Sud-Ouest, de la Société Hydro-Électrique de l'Eau d'Olle, de la Société des Forces du Fier, de la Compagnie des Chemins de fer du Midi, de la Compagnie du Chemin de fer Nord-Sud, de la Compagnie du Métropolitain, de la Compagnie des Omnibus de Paris, de la Compagnie des Omnibus et Tramways de Lyon, etc., auxquelles je puis ajouter maintenant les réseaux des régions libérées reconstitués, et considérablement développés, aux frais de l'État, sous la Direction de M. Legouëz, par la Commission technique du Comptoir central d'Achats industriels. J'ai tenu à exposer ici une carte de ce magnifique réseau que M. Legouëz a bien voulu me communiquer et qui a déjà donné lieu à la mise en œuvre de

2.365 km de câble d'aluminium de 125 mm² et de 861 km de câble d'aluminium armé de 189 mm² (fig. 14, planche hors texte).

Les réponses obtenues au cours de l'enquête faite auprès des exploitants expriment une satisfaction unanime.

Les réseaux d'aluminium étrangers. — Mais, comme beaucoup de Français n'apprécient pas toujours aussi justement qu'il le faudrait la valeur de leurs propres travaux, il paraissait utile de recueillir l'opinion de l'étranger et surtout celle des pays qui, comme les États-Unis et l'Allemagne, sont producteurs de cuivre et n'ont pas, par conséquent, les mêmes motifs que nous de préconiser l'emploi de l'aluminium.

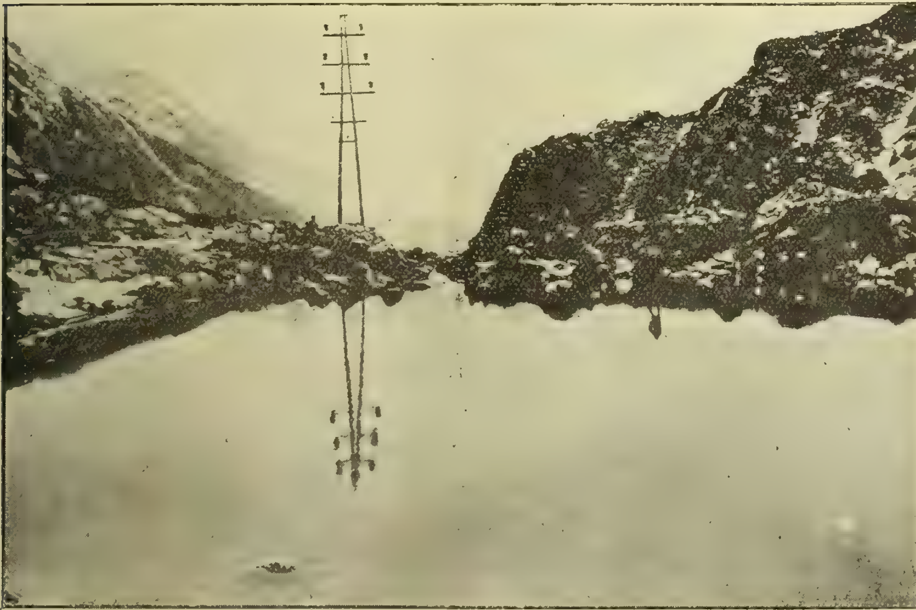


Fig. 9. — La ligne au lac de la Coche.

En 1913, tandis que la France produisait 15.000 t d'aluminium, et en consommait à peine 7.000, l'Allemagne, qui n'en produisait pas 1 kg, en consommait près de 16.000 t, dont une assez forte proportion dans l'industrie électrique. J'ai vu moi-même, en Saxe et en Poméranie, des réseaux entiers en conducteurs d'aluminium, représentant un développement total de lignes de l'ordre de 3.000 km. Je dois d'ailleurs dire que les réseaux de Saxe, bien que confiés à la direction d'un professeur de l'Université de Dresde, avaient été très mal étudiés et installés sans aucune des précautions dont j'ai montré la nécessité. Ils avaient donc donné lieu à de sérieux mécomptes qui avaient

motivé mon intervention en 1913. Mais je n'en ai pas moins trouvé, dans les milieux techniques compétents, une majorité nette en faveur de l'extension des emplois de l'aluminium en électricité et, dans la même année, c'est-à-dire bien longtemps avant nous, l'Association des Électriciens allemands, qui est un organe de réglementation officielle, réglementait l'emploi de l'aluminium en électricité. Depuis cette époque, nous savons qu'il a été fait, pendant la guerre, sur le front allemand, un emploi considérable de lignes en aluminium et que l'Allemagne, privée de notre exportation, a installé 4 usines de



Fig. 10. — La traversée du col.

production, alimentées par des bauxites de Hongrie et de Dalmatie et dont le courant électrique provient de centrales à vapeur chauffées au lignite. Ces 4 usines ont une capacité de production annuelle de 30.000 t et il en est prévu une cinquième en Bavière, qui serait alimentée par une centrale hydraulique de 50.000 ch.

Si l'on ne considère que les réseaux à 100.000 V et plus, soit en service, soit en construction, car l'Allemagne, elle aussi, a compris tout ce qu'elle pouvait attendre du développement de ses distributions d'énergie, on trouve dans ce pays un développement total de lignes à 3 conducters de 879 km en service et de 3.115 km en construction.

Sur les 879 km en service, il y en a 619 en aluminium et aluminium-acier et sur les 3.115 km en construction, il y en aura environ 1.000 km en aluminium. Les 1.965 km du réseau bavarois sont prévus en cuivre du fait de l'opposition systématique d'un fonctionnaire d'État, mais le dernier mot ne serait pas encore dit.

Les États-Unis et le Canada étaient producteurs en 1913 de plus de 700.000 t de cuivre et de 28.000 t d'aluminium. Leur capacité de production actuelle dépasserait 100.000 t d'aluminium. Les Américains peuvent donc



Fig. 11. — Une portée de 400 m à 1 600 m d'altitude.

apprécier l'aluminium en dehors de toute préoccupation d'ordre national et leur jugement ne doit pas nous paraître suspect.

Une enquête très sérieuse, faite en 1919, a touché 29 compagnies des États-Unis et du Canada. J'en ai examiné les résultats avec beaucoup de soins. J'ai commencé par éliminer les réponses de 8 compagnies qui déclaraient n'avoir pas une expérience suffisante de la question. Il m'est donc resté 21 réponses que j'ai classées en 3 catégories, les bonnes, les moyennes et les mauvaises, et j'ai ainsi trouvé 14 réponses très favorables à l'aluminium, 5 faisant quelques réserves et 2 nettement défavorables.

Ces deux dernières, provenant l'une de la Montana Power C° et l'autre de

la West Penn Power C°, basent leur opinion sur la trop grande facilité de fusion sous l'influence des arcs, soit aux isolateurs soit en ligne. Je vous ai dit comment l'aluminium se comportait, dans le premier cas, par rapport au cuivre et comment il était facile de se protéger contre les conséquences de la rupture accidentelle des isolateurs. Quant aux ruptures consécutives à des arcs en pleine portée, il faut vraiment qu'une ligne soit bien mal installée pour qu'un pareil accident puisse se produire.



Fig. 12. — Une porte de permutation à 1.500 m d'altitude.

Vous voyez donc que les deux mauvais sons de cloche venus d'Amérique ne sont pas bien graves.

Les 5 réponses moyennes, dont une seule provient d'une compagnie possédant un important réseau d'aluminium, d'une longueur de 1.500 miles, la Southern Power C°, se résument ainsi : Nous avons entière satisfaction de nos lignes d'aluminium, mais nous préférons cependant le cuivre et nous n'employons l'aluminium que parce qu'il coûte sensiblement meilleur marché que le cuivre. Cette réponse me donne, malgré l'aveu sincère d'une préférence en faveur du cuivre, toute satisfaction car je sais bien que les Américains, gens pratiques, ne sacrifieraient jamais, dans un organe aussi essentiel de leur industrie, la valeur technique à une question d'économie.

Quant aux 14 bonnes réponses, qui émanent presque toutes des plus grandes compagnies de transport d'énergie, de celles qui ont les plus grands réseaux d'aluminium et la plus ancienne expérience, dont la valeur est par conséquent incontestable, elles renferment toutes un magnifique éloge des conducteurs d'aluminium et d'aluminium-acier. La Pennsylvania Water and Power C° de Baltimore, l'Hydro Electric Power Commission of Ontario (qui possède 2.000 miles de lignes installées et 700 miles en construction), les Southern Railroad Lines de Washington (2.600 miles), la Shawiningan



Fig. 13. — Ligne à grande portée dans la vallée de l'Eau d'Olle à 1500 m d'altitude.

Water and Power C° de Montréal (800 miles de lignes et 15 ans d'expérience), l'Alabama Power C°, la Iowa Railway and Light C° de Cedar Rapid, la Southern Sierras Power C° de Riverside (15 ans d'expérience), la Pacific Light and Power Corporation (250 miles à 150.000 V en aluminium-armé de 346 mm² entre Big Creek et Los Angeles), disent toutes en substance : Nous plaçons l'aluminium et le cuivre sur le même pied d'équivalence technique, tant au point de vue de l'installation que de l'exploitation, et nous considérons que l'aluminium-armé est très supérieur au cuivre pour les grandes portées et les hautes tensions. Cette opinion résumée est accompagnée de très intéressants détails qui corroborent entièrement nos prévisions et nos constatations françaises (1).

(1) Dans un article sur le développement de l'industrie hydro-électrique au Canada, paru dans le dernier numéro de la *Revue générale de l'Électricité* (14 mai 1921), on peut lire ceci : les

Conclusion. — Aurai-je eu la bonne fortune, Messieurs, dans cette trop longue conférence, de vous prouver que l'aluminium peut et doit jouer un rôle de premier plan dans l'exécution des grands travaux nationaux dont je vous ai tracé tout à l'heure une esquisse sommaire? Aurai-je surtout la bonne fortune, par ce nouveau plaidoyer, de convaincre ceux de nos ingénieurs électriciens, de plus en plus rares heureusement, qui se refusent encore à reconnaître quelque valeur à l'aluminium? Je fais ici appel à leurs réflexions, pour quelques-uns même à leur bonne foi, et je leur demande, à l'heure de détresse économique que nous vivons, de se dépouiller de l'état d'esprit du passé et de se libérer de ce culte de la tradition qui n'est en réalité, j'ose le dire, que de la routine.

Puis-je aussi demander à nos producteurs français, qui vont, bientôt je l'espère, dès que nous aurons franchi la terrible crise actuelle, se trouver en présence d'une formidable tâche, de travailler sans relâche à maintenir la supériorité de leurs produits sur ceux de l'étranger? Les Allemands continueront sans doute, je le crains, à augmenter et à perfectionner leurs fabrications, non seulement pour leurs propres besoins, mais encore en vue de l'exportation et l'on sait, admirablement outillés et fortement organisés comme ils le sont, de quels efforts ils sont capables dans ce domaine. Il faut donc que l'aluminium de France et ses alliages conservent, sur le marché mondial, leur supériorité traditionnelle. Mais je suis plein de confiance à cet égard, car le sort de cette belle industrie est entre des mains telles qu'elle doit devenir et qu'elle deviendra la plus belle de nos industries nationales.

E. DUSAUGEY,
Ingénieur civil des Mines.

conducteurs employés pour la distribution de l'énergie au Canada (260.000 ch) sont, pour la plupart en aluminium; ce métal, en effet, a montré à l'usage les mêmes qualités que le cuivre et il présente, en outre, l'avantage d'être relativement meilleur marché. Au 31 octobre 1918, la totalité du réseau se décomposait comme suit : aluminium, 74 p. 100; cuivre, 17,1 p. 100; acier, 5,7 p. 100; fer, 3,2 p. 100.

LE MAGNÉSIUM, LE CALCIUM ET LE SODIUM [1]

Les métaux alcalins et alcalino-terreux, ainsi que le magnésium, l'aluminium et le glucinium possèdent un poids spécifique bien inférieur à celui des autres métaux. Envisagés à ce point de vue, tout conventionnel d'ailleurs, ils forment une classe à part, celle des *métaux légers*, et cette dénomination se justifie d'elle-même, si l'on remarque qu'abstraction faite du baryum, qui pèse 3,8, la densité des dix autres éléments est comprise entre 0,6 avec le lithium et 2,7 avec l'aluminium qui, sans le baryum, serait le plus lourd de la famille.

De tous ces métaux, quatre seulement ont reçu des applications industrielles importantes : ce sont l'aluminium, le magnésium, le calcium et le sodium. Vous avez pu vous rendre compte, ici même, de l'ampleur et de la diversité des emplois de l'aluminium, dont on vous a exposé l'histoire si attachante et qui, après avoir été beaucoup plus rare et coûteux que le sodium, est devenu un métal usuel, puisque la seule production américaine a atteint 100.000 t. Mais l'aluminium a eu des débuts incertains et a connu les crises de consommation. Il a, pendant longtemps, cherché sa voie et c'est ce que font encore, à des degrés inégaux, ses frères moins heureux, le magnésium, le calcium et le sodium. Ces derniers méritaient cependant, eux aussi, de vous être présentés et on a bien voulu, car ce sont déjà de vieux amis pour moi, me charger de cette agréable mission.

Je vais donc essayer de vous retracer, aussi brièvement que possible, leurs caractères, leurs antécédents et leur situation actuelle, de vous résumer les principes de leur fabrication et de vous signaler les applications chimiques et physiques qu'ils ont reçues ou auxquelles ils peuvent prétendre.

Les propriétés essentielles des trois métaux se trouvent résumées dans le tableau ci-après, comparativement à celles de l'aluminium et du cuivre, dont il est intéressant, à certains égards, de les rapprocher.

Magnésium.

Propriétés physiques. — Le magnésium rappelle beaucoup l'aluminium, par son aspect et par plusieurs de ses propriétés. Les points de fusion ne

(1) Conférence faite par l'auteur en séance publique le 24 mai 1921.

diffèrent que de 7 degrés (651° pour le magnésium et 658° pour l'aluminium); les coefficients de dilatation et les chaleurs spécifiques sont du même ordre et les constantes mécaniques sont tout à fait comparables.

	Cuivre.	Aluminium.	Magnésium.	Calcium.	Sodium.
Densité à 15°	8,94	2,70	1,72	1,57	0,972
Point de fusion	1 082°	658°	651°	805°	96°,5
Point d'ébullition	2 300°	1 800°	1 120°	1 700° (?)	880°
Coefficient de dilatation linéaire × 10^6	16	23	25	?	72
Chaleur spécifique (entre 15° et 100°)	0,093	0,217	0,248	0,150	0,308
Conductivité thermique (C. G. S.)	0,95	0,48	0,38	?	0,36
Résistivité électrique (à 20° en ohm : cm) × 10^6	1,73	2,9	4,5	4,6	4,8
Coefficient de température × 10^4	39	42	42	36	48
Conductivité électrique (à 20° en ohms) × 10^{-4}	57,8	34,5	22,2	21,8	21,1
Section de conducteurs équivalents	1	1,67	2,60	2,65	2,74
Poids de conducteurs équivalents	1 000	506	500	465	298
Charge de rupture du métal coulé (kg : mm²)	16	7	9	5	?
Poids atomique		27,1	24,3	40,1	23,0
Chaleur d'oxydation, par atome-gr. O (en cal : kg)		129	144	152	101
Chaleur de chloruration, par mol-gr. Cl², (en cal : kg)		108	152	190	197
Chaleur de sulfuration, par at-gr. S (en cal : kg)		42	80	112	91

Un peu plus mou que l'aluminium, le magnésium est aisément laminé, étiré ou pressé à chaud; il se laisse travailler au tour, à la fraiseuse ou à la raboteuse, avec une facilité et une rapidité extraordinaires.

Il est remarquablement léger, car son poids spécifique n'est que les 3/5 de celui de l'aluminium et une pièce en aluminium pesant 100 kg peut être remplacée, à volume égal, par une pièce en magnésium ne pesant que 64 kg. Par contre, la résistivité électrique (4,5) du magnésium est plus élevée que celle (2,9) de l'aluminium; mais la différence des densités compense largement cette infériorité, puisque des barres de même conductibilité électrique pèseraient par exemple 1.000 kg en cuivre, 506 kg en aluminium, et 500 kg seulement en magnésium. A ne considérer que les propriétés physiques, le magnésium pourrait donc avantageusement remplacer l'aluminium dans la construction mécanique et dans l'industrie électrique.

Propriétés chimiques. — Le magnésium est doué d'affinités énergiques, qui sont évidemment des qualités pour ses applications chimiques, mais que l'on a considérées pendant longtemps comme des inconvénients majeurs pour les emplois physiques.

Il est tout d'abord rassurant de constater qu'à l'air et dans les conditions atmosphériques ordinaires, il finit par se ternir à la vérité et se recouvre à la longue d'une mince pellicule de magnésie; mais l'oxydation est absolument superficielle et ne progresse nullement dans la masse du métal, à condition cependant que celui-ci soit sain et ne renferme pas d'impuretés et notamment d'inclusions de sels de magnésium. Nous retrouvons ici la clause fondamentale que Sainte-Claire Deville avait énoncée, avec une admirable précision, à propos de l'aluminium et qui s'applique, dans toute sa rigueur, au magnésium : « Le caractère particulier de la métallurgie de l'aluminium, c'est qu'il faut du premier jet obtenir le métal parfaitement pur. Il est extrêmement important de ne livrer au commerce que de l'aluminium entièrement exempt de la scorie au milieu de laquelle il s'est produit ». Cette nécessité domine aussi la métallurgie du magnésium.

Tout le monde sait que le magnésium en fil et en ruban, chauffé à l'air, entre en ignition et brûle avec une flamme éblouissante, très riche en rayons chimiques; cette propriété, utilisée en pyrotechnie et en photographie, a été, jusqu'en ces dernières années, la base des principales applications du magnésium. Elle a d'ailleurs retardé le développement des emplois physiques du métal, en laissant croire qu'il était un corps dangereux, éminemment combustible. C'est là une opinion dont des essais probants ont démontré l'inexactitude, et il importe de préciser les conditions d'inflammation du magnésium. Celle-ci ne se produit que si le métal est chauffé au-dessus de son point de fusion, c'est-à-dire au-dessus de 650°; elle ne se propage que si le métal est divisé, à l'état de fil, de tournure et, beaucoup plus difficilement, de limaille.

Avec les sections métalliques de l'ordre de celles employées en construction, la combustion s'arrête spontanément. De même, on peut fondre et couler le magnésium, au contact de l'air, sans autre complication que celle d'éviter le surchauffage; si, par inattention, le métal s'est enflammé dans le creuset, il suffit de fermer celui-ci avec un couvercle et d'attendre l'extinction par refroidissement. Dans les ateliers d'usinage, il faut naturellement prendre quelques précautions élémentaires contre l'inflammation des tournures; le cas échéant, on éteint les copeaux enflammés, non pas avec de l'eau, ce qui activerait la combustion, mais avec du sable sec, seul ou mélangé à de la valvoline épaisse.

Le magnésium est sans action sur l'eau à froid; il commence à la décomposer vers 70°, avec dégagement d'hydrogène. Il est lentement attaqué par un certain nombre de solutions salines, en particulier, par les solutions de chlorures et l'eau de mer. Il n'est pas altéré à froid par les lessives alcalines, mais les acides dilués, y compris les acides organiques, le dissolvent facilement.

A haute température, le magnésium réagit sur la plupart des métalloïdes et des composés métalloïdiques et métalliques. Il est en effet un des réducteurs les plus énergiques que nous connaissions ; c'est ainsi qu'au rouge, il décompose l'oxyde de carbone en donnant de la magnésie et du carbone et qu'il réduit la silice et l'anhydride borique.

Enfin, il réagit sur un grand nombre de substances organiques, en formant des composés organo-magnésiens ; cette réaction, découverte par Grignard, est devenue un précieux moyen de synthèse, en chimie organique.

Historique. — Un rapide historique du magnésium est nécessaire pour bien comprendre les conditions actuelles de cette industrie.

En 1830, le chimiste français Bussy isole le métal en décomposant le chlorure de magnésium par le potassium ; en 1857, Sainte-Claire Deville et Caron jettent les bases du procédé industriel, en substituant le sodium au potassium et en opérant la réduction en présence d'un fondant, le fluorure de calcium. Vers 1872, le magnésium se fabriquait dans une petite usine à Paris et dans les installations beaucoup plus importantes de Johnson et Matthey, à Patricroft, près de Manchester ; un peu plus tard, une troisième usine, de la même importance que l'usine anglaise, s'ouvrait aux États-Unis, à Boston.

En 1886, deux savants allemands, Fischer et Graetzel, s'efforcent de réaliser un appareil pour l'obtention du métal, par la décomposition électrolytique du chlorure de magnésium, suivant la méthode découverte en 1852 par Bunsen. Leurs recherches ont pour conséquence la création, sous la direction de Graetzel, de la première fabrique de magnésium électrolytique, à Hemelingen, près de Brême, et l'abandon rapide des procédés chimiques, plus coûteux.

En 1896, l'usine de Hemelingen est encore la seule à produire du magnésium ; mais la Société de Griesheim-Elektron entreprend bientôt à son tour l'électrolyse du chlorure. Pendant 20 ans, les deux usines allemandes conservent sur leurs procédés de fabrication un secret rigoureux et détiennent le monopole de l'industrie du magnésium, assurant à elles seules la consommation de tous les autres pays. Il faut dire, pour expliquer l'abstention des industriels étrangers à l'Allemagne, que les débouchés du métal n'étaient pas considérables, que l'Allemagne se trouve particulièrement favorisée sous le rapport de la matière première et que la lutte paraissait dure à engager contre des concurrents forts d'une expérience déjà longue.

Néanmoins, dans le rapport sur l'électrométallurgie que l'on avait bien voulu me demander de rédiger pour le 2e Congrès de la Houille blanche, qui devait se tenir à Lyon en septembre 1914, rapport que j'avais remis au mois

de juillet, je me permettais de signaler, à propos du magnésium, combien il était regrettable qu'une société française n'en entreprît point la fabrication, ne fût-ce qu'au point de vue de l'indépendance de nos constructeurs nationaux. Je n'avais pas cependant prévu le pire : un mois plus tard, la déclaration de guerre et les Alliés sans magnésium, pour des emplois militaires urgents.

L'Angleterre ne tardait pas à s'apercevoir, comme nous, des lacunes de son industrie; sans s'attarder à des essais qui lui paraissaient devoir être longs, elle rouvrait résolument, à la fin de 1914, sa vieille usine chimique de Patricroft, fermée depuis 1890. En France, la Société d'Électrochimie et d'Électrométallurgie, déjà spécialisée dans les électrolyses ignées, conduisant au sodium, au calcium et à l'aluminium, envisageait la question sous un aspect plus moderne et son usine des Clavaux commençait, au début de 1915, à envoyer le magnésium français aux Ateliers de Pyrotechnie de Bourges; elle dut, par la suite, développer ses moyens de production, qu'elle sut perfectionner et mettre en harmonie avec les besoins, sans cesse croissants, de la consommation.

Aux États-Unis, la pénurie de magnésium suscitait également de nombreuses recherches et provoquait la création de plusieurs usines électrolytiques. Le nombre de celles-ci était de trois à la fin de 1915; il atteignait cinq en 1917; mais à la fin de 1919, par suite de la diminution des demandes et de la baisse des prix, une seule usine américaine restait en fonctionnement.

Pendant la guerre, les usines allemandes ont accru, elles aussi, dans des proportions énormes, leur puissance de production; il semble que l'Allemagne ait cherché et trouvé dans le magnésium un métal national capable de remplacer, dans beaucoup de ses applications, l'aluminium qu'elle ne pouvait obtenir en quantité suffisante.

Minerais de magnésium. — L'Allemagne est en effet le pays le plus riche du monde en chlorure de magnésium, qui constitue, à l'état de carnallite, ou chlorure double de magnésium et de potassium, un des principaux minerais des gisements de Stassfürt. Le chlorure de magnésium et la carnallite sont précisément les deux seuls composés d'où l'on ait retiré jusqu'ici le métal; les usines allemandes d'électrolyse peuvent donc recevoir à volonté la carnallite ou même le chlorure de magnésium, ce dernier sel formant un résidu surabondant du traitement de la carnallite en vue de l'extraction du chlorure de potassium. Il est à noter que nos gisements d'Alsace ne contiennent pas de chlorure de magnésium, circonstance évidemment avantageuse pour l'industrie de la potasse, mais non pas pour celle du magnésium.

Cependant, le chlorure de magnésium se rencontre aussi dans l'eau de la

mer et dans celle des lacs salés. On peut l'extraire des eaux-mères, après dépôt du sel marin; mais le prix de ce chlorure est bien supérieur à celui du sel de Stassfürt.

Le carbonate de magnésie naturel, ou giobertite, constituerait, à certains égards, un minerai intéressant; malheureusement, la France ne possède aucun gisement de ce produit, qui existe dans certains pays en amas considérable et à un état de grande pureté. Nous avons, il est vrai, des dépôts de dolomie, ou carbonate double de chaux et de magnésie; mais on ne connaît, jusqu'à présent, aucun procédé assez économique d'élimination de la chaux.

Métallurgie chimique. — En ce qui concerne la métallurgie du magnésium, l'ancienne méthode chimique Deville et Caron, dont des circonstances spéciales ont provoqué la réapparition en Angleterre, ne saurait, pas plus qu'autrefois, résister à la concurrence de la méthode électrolytique. Un des éléments importants du prix de revient du magnésium est l'obtention du chlorure de magnésium anhydre, nécessaire aussi bien au procédé chimique qu'au procédé électrolytique. Une fois en possession du sel anhydre, il est certainement plus économique de l'électrolyser directement que de le réduire par le sodium, qu'il faut préparer au préalable par électrolyse d'un produit déjà coûteux, la soude caustique. Il semble d'ailleurs qu'on ait reconnu, en Grande-Bretagne, la justesse de ce point de vue, car une fabrique électrolytique de magnésium a été montée en 1919, à Wolverhampton.

La situation serait susceptible de se modifier si l'on découvrait un procédé chimique ou électrothermique, faisant usage d'une matière première, telle que la magnésie, moins coûteuse que le chlorure anhydre. Des essais multiples ont été engagés dans cette voie, en ces dernières années, principalement aux États-Unis, où des recherches méthodiques se poursuivent, dont certaines ont même été suivies de tentatives de fonctionnement industriel.

La réduction de la magnésie par le carbone est une idée très séduisante par sa simplicité; mais elle rencontre, en pratique, des difficultés qui n'ont pu être encore surmontées. D'une part, la réaction ne s'effectue rapidement qu'à une température très élevée, supérieure à 2.000°; de plus, les vapeurs de magnésium sortent du four, mélangées à de l'oxyde de carbone et, dès qu'elles se sont refroidies à 1.500°, elles réduisent l'oxyde de carbone pour régénérer la magnésie. C'est la réversibilité de la réaction qui entre en jeu au refroidissement; on a essayé d'éviter la rétrogradation en opérant dans le vide ou dans une atmosphère d'hydrogène, ce qui entraîne des complications importantes dans l'appareillage. Le rendement en magnésium compact n'a pu dépasser 20 p. 100; le reste du métal condensé forme une poudre oxydée, inutilisable.

Si l'on s'adresse à un réducteur donnant des produits d'oxydation non volatils à la température de réaction, les chances de succès s'accroissent, mais le prix du réducteur augmente, lui aussi. En 1913, M. Matignon a réalisé la réduction de la magnésie par l'aluminium, à une température de 1.200°; le rendement en métal a atteint 70 p. 100 au laboratoire. Il faut malheureusement opérer dans le vide ou dans une atmosphère de gaz inerte, comme dans le cas précédent.

Des essais analogues ont été interrompus au bout de quelque temps de marche et il apparaît que la mise au point d'un procédé thermique quelconque pour l'extraction du magnésium sera une opération laborieuse.

Métallurgie électrolytique. — Le magnésium se fabrique exclusivement par électrolyse du chlorure de magnésium anhydre fondu. Rien n'est plus simple en principe; la décomposition du sel par le courant électrique met en liberté, au pôle négatif ou cathode, du magnésium métallique liquide et, au pôle positif ou anode, du chlore gazeux qui se dégage.

Les difficultés pratiques proviennent de causes diverses. Tout d'abord, la présence, dans l'électrolyte fondu, de certaines impuretés, même en quantités minimes, suffit à diminuer considérablement le rendement en métal; au premier rang de ces impuretés, se trouve la magnésie, dont il faut par conséquent éviter l'existence préalable dans le bain et la formation en cours d'électrolyse.

Or, le chlorure de magnésium, livré par le commerce, est du sel hydraté, à 6 molécules d'eau, et il faut, pour le rendre apte à être électrolysé, le chauffer pour le déshydrater, pour lui faire perdre toutes ses molécules d'eau. Mais, si ce chauffage est conduit sans précautions, l'eau et le chlorure de magnésium réagissent mutuellement et le sel subit ce qu'on appelle l'hydrolyse, c'est-à-dire une décomposition par l'eau en acide chlorhydrique gazeux, qui se dégage, et en magnésie, qui reste, et dont on sait le mauvais effet sur le rendement. Aussi, pour obtenir, à la place d'un oxychlorure infusible et inutilisable, un chlorure anhydre, exempt de magnésie et propre à l'électrolyse, faut-il avoir recours à des artifices spéciaux, qui compliquent singulièrement la préparation de la matière première.

Le chlorure de magnésium anhydre fond à 710°, tandis que le métal fond à 650°. Si l'électrolyse est conduite à 710°, valeur minima, le magnésium se sépare donc à l'état liquide et à une température qui n'est supérieure que de 60 degrés à son propre point de fusion. Ce surchauffage n'a rien d'excessif et il serait tout à fait inutile de chercher à abaisser le point de fusion du chlorure de magnésium par addition d'un sel étranger, si d'autres considérations ne rendaient pas la chose nécessaire. En effet, le chlorure de magné-

sium est déjà volatil à sa température de fusion; de plus, il s'hydrolyse d'une façon sensible au contact de l'humidité de l'air. Il faut, pour lui donner la stabilité physique et chimique qui lui fait défaut, le mélanger à un autre sel, tel que le chlorure de potassium, dont la tension de décomposition est suffisamment supérieure à celle du chlorure de magnésium pour que le courant électrique ne mette pas du potassium en liberté en même temps que le magnésium. Mais le mélange des deux sels, $MgCl^2$ et KCl, est déjà réalisé par la nature : la carnallite des gisements de Stassfürt n'est autre chose que du chlorure double hydraté de magnésium et de potassium. Et par surcroît, la déshydratation de la carnallite s'effectue beaucoup plus facilement que celle du chlorure de magnésium seul, avec une tendance bien moindre à l'hydrolyse; on comprend l'avantage qu'il peut y avoir à partir comme matière première de la carnallite, plutôt que du chlorure de magnésium.

Une dernière circonstance vient encore compliquer la pratique de l'électrométallurgie du magnésium. La densité du métal liquide est à peu près la même que celle (1,66) du bain au sein duquel il prend naissance, en sorte que le magnésium a parfois une tendance fâcheuse à rester entre deux eaux. Plus léger, il monterait nettement à la surface du bain, comme le sodium, de densité 0,97; plus lourd, il se rassemblerait au fond, comme l'aluminium, de densité 2,7. Aussi a-t-on proposé, sans aucun succès d'ailleurs, des mélanges compliqués des sels les plus divers, devant donner les uns un bain plus lourd, les autres un bain plus léger que le métal. L'insuccès de ces tentatives est d'ailleurs moins d'ordre technique que d'ordre économique, les sels proposés entraînant une élévation prohibitive du prix de revient.

Les considérations précédentes expliquent la faveur qu'a rencontrée et que rencontre encore, semble-t-il, la préparation du magnésium par marche discontinue. Dans ce procédé de fabrication, qui dérive du procédé classique de Graetzel indiqué dans tous les traités de chimie et qui a été décrit récemment comme étant appliqué par une usine étrangère, l'électrolyseur est une cuve cylindrique en fer, dont les parois servent de cathode et qui peut être chauffée par un foyer extérieur. On introduit dans la cuve une charge de chlorure double de magnésium et de potassium et, après fusion, on la soumet à la décomposition électrolytique : une partie du métal séparé est recueillie périodiquement, l'autre partie reste dans le bain. Au bout d'un certain temps, ce dernier est devenu trop pauvre en chlorure de magnésium, aux dépens duquel le métal a été mis en liberté. On arrête alors l'électrolyse et on vide la cuve; on broie grossièrement la charge solidifiée et on trie le magnésium métallique qui se trouve disséminé dans la masse. On recharge la cuve avec une nouvelle quantité de chlorure double frais et on recom-

mence l'opération. Le cycle est d'environ 24 heures et chaque cuve donne 12 à 13 kg de métal par jour.

Le principal avantage de ce procédé est d'utiliser comme matière première la carnallite, facile à déshydrater sans décomposition; l'usine de Hemelingen a même préconisé autrefois l'emploi d'une carnallite additionnée, volontairement ou non, de chlorure de sodium: Les inconvénients de ce mode opératoire sont évidents : faible capacité des appareils, marche intermittente, consommation inutile de charbon ou d'énergie pour la remise en route, augmentation des frais de main-d'œuvre et d'entretien.

Il est donc logique d'envisager la possibilité d'une marche continue; celle-ci nécessite l'extraction périodique, sans interruption de l'électrolyse, du magnésium produit et l'alimentation, également périodique, en chlorure de magnésium anhydre, de façon à maintenir sensiblement constante la composition du bain.

L'obtention préliminaire de chlorure de magnésium anhydre est possible soit à partir du chlorure hydraté, soit à partir de la magnésie. La déshydratation du chlorure demande beaucoup de précautions. On évite l'hydrolyse en opérant dans le vide à basse température ou dans un courant de gaz chlorhydrique; on peut aussi ajouter au sel une certaine quantité de chlorure d'ammonium, qui est progressivement volatilisé au cours du chauffage. Le procédé de transformation de la magnésie en chlorure anhydre, sans passer par le chlorure hydraté, consiste à envoyer un courant de chlore sur un mélange de magnésie et de charbon porté au rouge, ou sur de la magnésie seule, en présence de chlorure de soufre, suivant le procédé Matignon et Bourion.

On a essayé d'électrolyser directement la magnésie dissoute dans un bain de fluorures, suivant un processus analogue à celui qui donne l'aluminium; toutes les tentatives faites dans ce sens ont échoué, au moins industriellement. En particulier, la décomposition par le courant d'un mélange de magnésie et de cryolithe met en liberté l'aluminium de la cryolithe et non pas le magnésium de la magnésie.

Purification. — Au sortir de l'électrolyseur, le magnésium est souillé d'une notable proportion d'impuretés, notamment d'oxydes et de chlorures, et il est indispensable de le purifier par refusion. Cette opération s'effectue très simplement dans un creuset, que l'on prend la précaution de maintenir fermé par un couvercle; il n'y a aucune utilité à essayer, pendant la fusion, de protéger le métal contre l'oxydation par un courant de gaz inerte ou par l'addition de sels fusibles. Par contre, il faut le débarrasser complètement des chlorures qui l'imprègnent et qui lui feraient perdre sa résistance aux

agents atmosphériques. La Société de Griesheim élimine les dernières traces de chlorures occlus, à l'aide d'un courant d'hydrogène légèrement humide : la vapeur d'eau provoque la formation d'oxychlorures qui viennent surnager.

La coulée du métal ne présente pas de difficultés spéciales, à condition de ne pas trop surchauffer; l'addition de 0,1 à 0,5 p. 100 de calcium a été recommandée, pour diminuer l'oxydation du jet de coulée.

La teneur totale d'impuretés dans le magnésium commercial est en moyenne de 0,8 p. 100 avec 0,4 p. 100 de potassium et 0,1 p. 100 de silicium, de fer, d'aluminium et de calcium.

Emplois chimiques. — Jusqu'en ces dernières années, les seules applications du magnésium étaient celles qui découlaient de ses propriétés chimiques.

La lumière éclatante, produite par la combustion d'un ruban ou d'un fil de ce métal, a été autrefois mise à profit comme moyen d'éclairage; les lampes à ruban de magnésium n'ont plus aujourd'hui qu'un intérêt rétrospectif. Le ruban ou fil continue cependant à servir comme mode d'amorçage des réactions aluminothermiques; les laboratoires analytiques en consomment aussi une petite quantité. On utilise depuis longtemps le grand pouvoir actinique de la lumière du magnésium, pour prendre des photographies dans les endroits insuffisamment éclairés. On emploie à cet effet le métal pulvérisé, mais il ne brûle que s'il est entraîné par un courant d'air et projeté dans une flamme. Pour éviter le dispositif un peu compliqué, qui est nécessaire pour produire, de cette façon, les éclairs au magnésium, on mélange généralement le métal en poudre avec des corps oxydants, tels que chlorate, perchlorate, azotate ou permanganate de potasse, ou même simplement acide borique. Ces mélanges, qu'il suffit d'enflammer en cartouches, sont d'un emploi commode, mais parfois dangereux : certains constituent des explosifs d'une grande violence et très sensibles au choc ou au frottement.

Le magnésium en poudre et en grains est aussi largement utilisé en pyrotechnie et si, en temps de paix, la préparation des feux d'artifices ne représente qu'une consommation modeste, il n'en est plus de même en temps de guerre. Les emplois militaires sont nombreux et importants : fusées ou bombes lumineuses, destinées aux signaux ou indispensables pour éclairer le terrain pendant la nuit; obus de réglage de tir, dont on peut constater le point de chute, grâce à la lumière de combustion pendant la nuit ou à la fumée blanche de magnésie pendant le jour; balles et obus traçants, dont on suit la trajectoire et qui produisent aussi des effets incendiaires; enfin, dans certains cas, introduction du magnésium dans les mélanges explosifs, introduction qui se traduit par une augmentation notable de la pression gazeuse, au moment de la déflagration.

Les industries organiques consomment une quantité de magnésium relativement faible, soit pour les synthèses par la méthode de Grignard, soit pour déshydrater certains liquides, comme l'aniline, les alcools et éthers.

On a recours, en chimie minérale, aux propriétés réductrices du magnésium pour préparer quelques métalloïdes et métaux. L'action du magnésium sur la silice donne le silicium à un état de pureté, qui n'a pas encore été atteint par la méthode électrothermique : Vigouroux a pu isoler de cette façon du silicium à 99,6 p. 100 de Si. La réduction de l'anhydride borique par le magnésium, étudiée par Moissan et reprise au point de vue industriel par Weintraub, est le seul moyen d'obtenir de grandes quantités de bore, souillé, il est vrai, d'un peu de sous-oxyde de bore et de borure de magnésium, mais que l'on purifie ensuite par chauffage à 2 000° dans un four électrique spécial. Enfin, l'extraction du potassium peut être réalisée avec facilité en traitant par le magnésium le carbonate ou l'hydrate de potassium.

On a reconnu d'autre part que le magnésium convient tout particulièrement comme agent de désoxydation et d'épuration, pour le raffinage d'un certain nombre de métaux et d'alliages.

C'est ainsi qu'il est employé, depuis longtemps, dans la métallurgie du nickel, pour réduire l'oxyde de nickel et l'oxyde de carbone, au moment de la coulée des pièces de fonderie et des lingots de laminage; l'addition est de 0,08 à 0,15 p. 100 du nickel à épurer. Mais le magnésium étant beaucoup plus léger que le nickel flotterait et brûlerait à la surface du bain métallique si l'on ne prenait pas soin de l'enfoncer et de le maintenir immergé à l'aide d'une tige d'argile ou de plombagine. Pour éviter cette complication opératoire, on prépare à l'avance un alliage de magnésium et de nickel, dont la densité est assez voisine de celle du bain et qui remplace avantageusement le magnésium pur. On désoxyde de la même façon les alliages binaires et ternaires de nickel et de cuivre : maillechorts, argentan, métal monel et nichromes.

Dans le raffinage du cuivre par voie sèche, l'usage du magnésium, recommandé par Sperry et Hüser, s'est largement développé aux États-Unis. On part de préférence d'alliages magnésium-cuivre, dont les deux types principaux sont à 20 p. 100 et à 50 p. 100 de Mg; on a également préconisé un alliage à 93 p. 100 de Cu, 2 p. 100 de Mg et 5 p. 100 de Ti. La proportion de désoxydant varie de 0,05 à 0,08 p. 100 du cuivre à affiner; il vaut mieux éviter un excès de magnésium, qui ne serait pas oxydé et qui resterait dans le métal; une addition de scorie acide, d'indice voisin de 2, est utile pour absorber la magnésie formée. On peut, dans ces conditions, obtenir un cuivre à grain fin, très dense, ayant une conductivité électrique égale à celle

du cuivre électrolytique et permettant la substitution, dans certains cas, des pièces fondues aux pièces laminées.

L'épuration par le magnésium des laitons et des bronzes donne aussi des résultats remarquables, en ce sens qu'un petit excès de désoxydant, loin d'être nuisible, améliore les constantes mécaniques de ces alliages. C'est ainsi qu'avec 0,05 p. 100 de Mg, on aurait constaté une augmentation dans la résistance à la traction de 25 p. 100 pour le bronze, de 30 à 50 p. 100 pour le laiton, l'allongement étant, dans les deux cas, augmenté lui-même de 40 p. 100. On a cependant signalé aux États-Unis qu'avec le bronze phosphoreux, un excès de magnésium est nuisible et qu'il produit des trous d'épingles dans les pièces fondues ; on se demande d'ailleurs la raison d'une introduction, simultanée ou successive, de phosphore et de magnésium dans le bronze.

Il est d'une pratique courante, dans un grand nombre de fonderies d'aluminium, d'ajouter au métal une proportion de magnésium allant de 0,5 à 2 p. 100. Une partie seulement du magnésium est consommée pour la réduction ; le reste s'allie à l'aluminium, auquel il donne un grain plus fin et de meilleures propriétés mécaniques. Au dire des Américains, la résistance à la rupture serait doublée et la résistance au choc quadruplée, pour une teneur résiduelle de 0,7 à 1,5 p. 100 en Mg. Les alliages proprement dits d'aluminium et de magnésium sont d'ailleurs du plus haut intérêt, comme nous le verrons plus loin.

La désoxydation des produits ferreux par le magnésium pur ne semble pas pratiquement réalisable, en raison de la violence de la réaction et des pertes de réducteur qui en sont la conséquence. On préfère avec raison recourir à des alliages de magnésium avec d'autres désoxydants et la sidérurgie allemande a employé avec succès pendant la guerre un alliage ternaire magnésium-aluminium-manganèse. Il est intéressant de rappeler ici les essais de Ledebur, qui montrent que le fer ne retient pas de magnésium, même si celui-ci est ajouté au bain d'acier dans la proportion de 1 p. 100.

Emplois physiques. — Les applications d'ordre physique du magnésium étaient naguère encore inexistantes ; elles étaient même envisagées avec scepticisme par beaucoup de bons esprits. Elles se sont pourtant développées, en ces dernières années, avec une rapidité surprenante, sous le coup de fouet des besoins de guerre. Les résultats obtenus sont extrêmement encourageants et paraissent décisifs. Dans tous les pays, l'emploi des alliages de magnésium dans la construction mécanique, l'aviation, l'aéronautique, les industries automobiles et électriques, est à l'ordre du jour. Cette question a été, en France, l'objet de recherches patientes et d'essais nombreux, dont vous entretiendront prochainement deux de nos techniciens les plus compétents en la

matière, M. le Lieutenant-Colonel Grard et M. de Fleury. Il leur appartiendra de vous montrer les perspectives nouvelles qui s'ouvrent devant la métallurgie du magnésium, jusqu'ici orientée presque entièrement vers les applications chimiques et je me bornerai, pour ma part, à vous esquisser un tableau d'ensemble des usages physiques du métal.

Ces usages concernent tous, non pas le magnésium seul, mais ses alliages dont certains atteignent, il est vrai, une teneur de 92 p. 100 de Mg. De plus, parmi les nombreux alliages que forme le magnésium, avec au moins une vingtaine de métaux différents, un petit nombre seulement ont, jusqu'ici, une importance pratique.

A cet égard, la priorité appartient certainement, ne fût-ce que par droit d'ancienneté, aux alliages de magnésium et d'aluminium. Le magnésium possède la propriété remarquable, découverte par Willm, de durcir l'aluminium par trempe, avec cette particularité que le durcissement n'atteint sa valeur maximum qu'au bout d'un temps assez long. On a reconnu récemment que le cuivre a sur l'aluminium une action analogue, mais que l'effet de trempe est plus intense si l'on ajoute à la fois du magnésium et du cuivre à l'aluminium.

Ainsi s'explique la composition de ces alliages à 2 p. 100 de Mg et 2 p. 100 de Cu, avec lesquels on confectionne maintenant diverses pièces, telles que valves et robinets; dans une usine de produits chimiques, une valve de cette nature, ayant 75 mm de diamètre et 10 mm d'épaisseur, supporte, sans fuite et sans corrosion, une pression de 28 kg : cm² d'acide acétique.

Le *duralumin*, dont le nom vous est devenu familier, renferme 0,5 p. 100 de Mg, 3 à 5 p. 100 de Cu et 0,5 à 0,8 p. 100 de Mn; son étude scientifique, poursuivie notamment en France par M. Guillet et par M. le Lieutenant-Colonel Grard, paraît devoir éclairer d'un jour nouveau nos connaissances sur ces alliages. Tous les pays ont fait, pendant la guerre, un usage fréquent du duralumin; mais cet alliage rentre trop nettement dans le domaine de l'aluminium pour qu'il ne suffise pas ici de souligner la modeste, bien qu'importante participation du magnésium à son élaboration.

On prépare, depuis une vingtaine d'années, sous le nom de *magnalium*, des alliages composés principalement d'aluminium et de magnésium et dans lesquels la teneur en magnésium varie de 2 à 10 p. 100. Les types les plus fréquemment employés sont le magnalium X pour pièces forgées, contenant 2 p. 100 de Mg, avec 2 p. 100 de Cu et 1 p. 100 de Ni, et le magnalium Z pour pièces laminées et étirées, avec 2 p. 100 de Mg, 0,2 p. 100 de Cu, 3 p. 100 de Sn et 0,7 p. 100 de Pb. Ces alliages se travaillent plus facilement que l'aluminium; ils ont une couleur qui rappelle celle de l'argent et parais-

sent avoir pris, surtout à l'étranger, un assez grand développement dans la fabrication d'objets pour la petite industrie mécanique.

Mais à mesure que la proportion de magnésium ajouté à l'aluminium augmente, l'alliage devient plus dur, mais aussi plus fragile. Les teneurs critiques auxquelles on cesse de pouvoir pratiquer l'étirage et le laminage sont assez mal connues; elles sont d'ailleurs modifiées par l'introduction d'un troisième constituant. C'est ainsi que l'on a recommandé, comme faciles à travailler et doués de propriétés intéressantes en construction mécanique, deux alliages ternaires : l'un à 6 p. 100 de Mg et 20 p. 100 de Zn, dénommé *zimalium*, l'autre ou plutôt les autres, renfermant de 5 à 18 p. 100 de Mg et de 2 à 12 p. 100 de Cd.

Les alliages d'aluminium et de magnésium, riches en magnésium, ont une blancheur argentée remarquable, une texture très fine et ils sont susceptibles de recevoir un fort beau poli. L'alliage à 54 p. 100 de Mg, correspondant à $Al^3 Mg^4$, a été étudié récemment au Bureau of Standards : la surface polie possède un pouvoir réfléchissant élevé et peut servir comme miroir, à condition d'être protégée par un vernis.

Enfin, les propriétés mécaniques du magnésium sont améliorées par l'addition d'une petite quantité d'un autre métal, par exemple de l'aluminium. On arrive ainsi à la conception d'alliages tels que celui proposé en 1910 par la Société de Griesheim et contenant 92 p. 100 de Mg et 8 p. 100 de Al. Ces alliages, dont la densité est voisine de celle du magnésium, ont fait l'objet d'applications intéressantes; mais leur composition a été modifiée par substitution, partielle ou presque complète, du zinc à l'aluminium.

L'influence durcissante du magnésium s'exerce non seulement sur l'aluminium, mais aussi sur d'autres métaux, comme le cuivre et le plomb. Avec le cuivre, que 3 p. 100 de magésium suffisent à rendre cassant, le durcissement est si marqué que les alliages magnésium-cuivre ne sont préparés que pour les usages chimiques de désoxydation, ou, sous une formule plus complexe, comme alliages-mères pour l'élaboration du duralumin. Dans le plomb, au contraire, le magnésium est susceptible de remplacer avantageusement l'antimoine; l'introduction de 1 à 4 p. 100 de Mg donnerait en effet un alliage de meilleure qualité que le plomb antimonieux. La dureté de l'alliage peut être augmentée par une petite addition de cuivre; la fragilité sera diminuée et la résistance aux actions chimiques sera améliorée par l'intervention de l'étain. On emploie avec succès, aux États-Unis, un alliage de plomb, pour coussinets et matrices, renfermant 4 p. 100 de Mg, et 5 p. 100 de Sn et de Cu.

On a constaté depuis longtemps que le zinc a, sur le magnésium, une action durcissante très nette et qu'il suffit d'une teneur assez faible en zinc pour améliorer considérablement les propriétés chimiques et mécaniques du

magnésium pur. Partant de ces constatations, on a étudié de divers côtés la

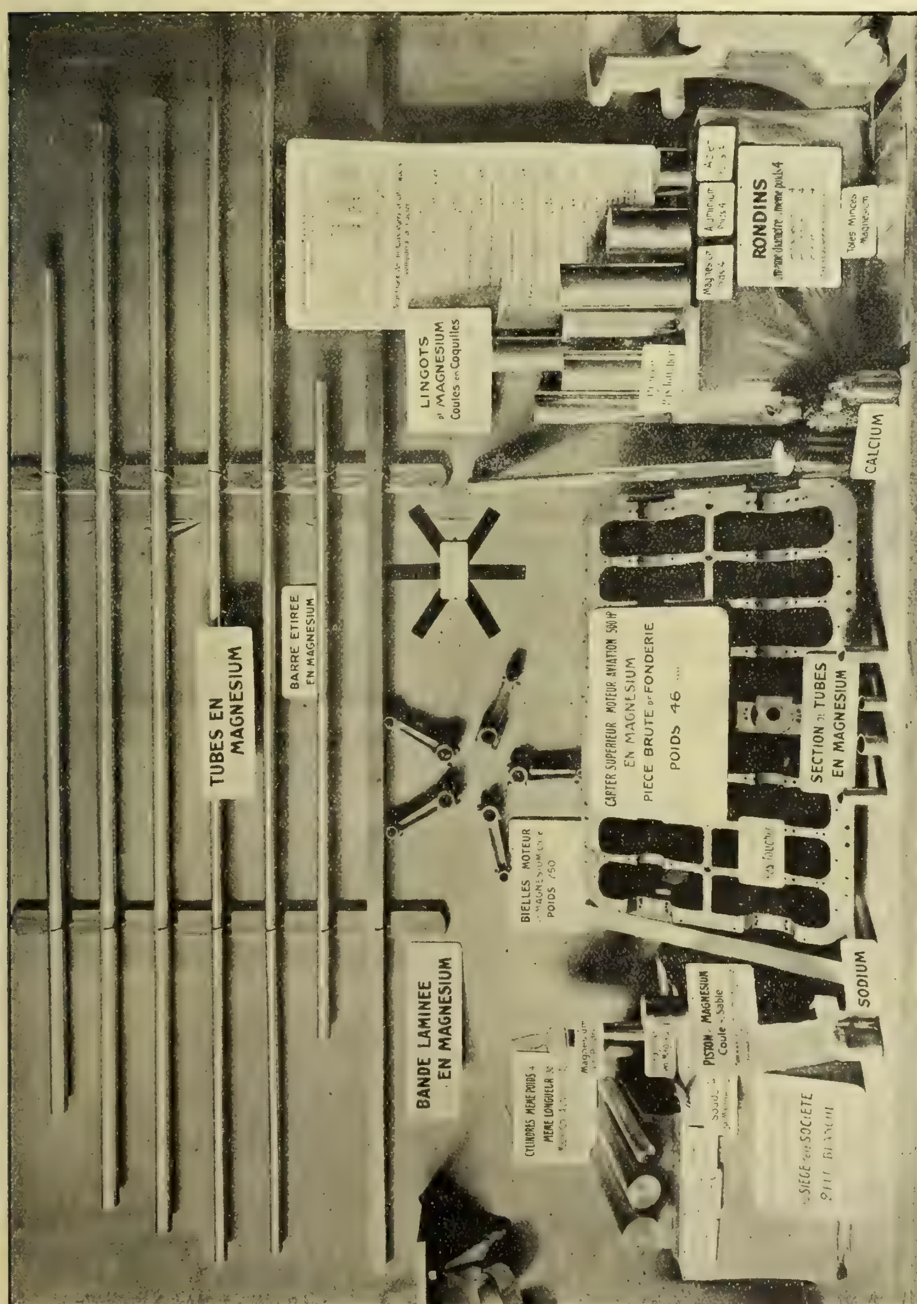


Fig. 1. — Objets en aluminium, magnésium, calcium ou sodium, et en alliages de ces métaux exposés par la Société d'Électrochimie et d'Électrométallurgie.

composition d'alliages complexes, à base de magnésium et de zinc, alliages de densité 1,8, les plus légers que l'on puisse concevoir actuellement pour la

construction. Vers 1910, la Société de Griesheim mit dans le commerce un alliage de cette nature, qu'elle appelait *métal Elektron*; mais les efforts techniques de la société allemande ne parurent pas éveiller chez les consommateurs un intérêt bien vif, pas plus que les alliages analogues, dénommés *métal Ruebel*, *métal-liège*, etc.

La situation a bien changé. En Allemagne, le métal Elektron a été largement utilisé pendant la guerre, comme succédané de l'aluminium et du duralumin, pour les pièces mécaniques de toute nature; le poids de tournures de métal Elektron que les ateliers d'usinage renvoyaient à l'usine de Bitterfeld pour être refondues, était d'environ 60 t par mois, ce qui correspond à un volume de 300 t de tournures de fer. La France, les États-Unis, l'Angleterre ont, depuis quelques années, abordé à leur tour la fabrication et l'emploi de ces alliages, principalement pour l'aéronautique et l'automobile. La Société d'Électrochimie et d'Électrométallurgie a fourni, en ces derniers temps, un effort considérable, dont vous avez pu apprécier les beaux résultats (fig. 1), dans la voie de la préparation et de la transformation des alliages ultra-légers en rondins, profilés, tubes, etc. De son côté, M. de Fleury a obtenu des pièces de fonderie extrêmement remarquables, telles que bielles, pistons, carters de moteurs.

Ces alliages ont une composition assez variable. La teneur en magnésium oscille entre 89 et 97 p. 100; avec 1 à 5,5 p. 100 de Zn comme constituant principal, 0,5 à 5 p. 100 d'Al et un peu de cuivre et de manganèse comme constituants secondaires. Il semble que les alliages ultra-légers magnésium-zinc soient aussi anciens que le magnésium lui-même. J'ai trouvé, dans de vieux traités de chimie, une analyse de magnésium français, datant de 1876 et accusant 93,6 p. 100 de Mg avec 3,1 p. 100 de Zn, 0,2 p. 100 d'Al et 2,4 p. 100 de Si. Il paraît difficile de ne pas songer à une addition intentionnelle de zinc.

CALCIUM.

Propriétés physiques. — Le calcium, fraîchement travaillé, possède un assez bel éclat métallique et une couleur blanche tirant sur le jaune. Il est à peu près aussi dur que l'aluminium, mais il est beaucoup plus cassant et il fond à une température sensiblement plus élevée (805° au lieu de 658°). Il se travaille aisément au tour; il est assez malléable pour être amené par le laminage en feuilles minces et assez ductile pour être étiré à la filière en fils de 5/10 mm de diamètre. Sa résistance à la rupture par traction ne dépasse pas 5 kg : mm^2; ses constantes mécaniques ne paraissent pas connues d'une manière précise.

Sa densité, inférieure à celle du magnésium, oscille, suivant la pureté de l'échantillon, entre 1,54 et 1,60; elle est environ les 6/10 de celle de l'aluminium. Sa résistivité électrique a été, par des mesures récentes, fixée à 4,6 μO : cm; elle est donc à peine plus élevée que celle du magnésium, en sorte qu'un conducteur en calcium, équivalent à un conducteur en cuivre de 1.000 kg, ne pèserait que 465 kg, soit 35 kg de moins que le même conducteur en magnésium.

Propriétés chimiques. — A la température ordinaire, le calcium pur et sain résiste assez bien dans l'air sec, mais se ternit rapidement dans l'air humide. L'eau est en effet lentement décomposée à froid et la décomposition s'accélère à chaud. La présence d'impuretés métalliques ou salines dans le métal le rend beaucoup plus attaquable par l'eau et les agents atmosphériques.

A haute température, le calcium possède des affinités chimiques plus accentuées encore que celles du magnésium; il réagit sur presque tous les corps et en particulier sur les gaz, auxquels il s'unit ou qu'il décompose. Chauffé dans l'air au voisinage de son point de fusion, il brûle et fixe à la fois l'oxygène et l'azote, en se transformant en chaux et en azoture de calcium. Il se combine à l'hydrogène pour donner de l'hydrure de calcium, corps intéressant sur lequel nous reviendrons. Il fixe le chlore et ses congénères, il décompose l'acétylène, l'oxyde de carbone, les gaz carbonique, sulfureux, ammoniac, etc.; il est sans action sur les gaz nobles.

Il met en liberté le métal de la plupart des oxydes, chlorures, fluorures et sulfures métalliques et la réduction est parfois extrêmement violente. Il forme enfin, avec un grand nombre de métaux, des alliages bien définis.

Historique. — Le calcium métallique est isolé en 1808 par Davy; mais, pendant 90 ans, on cherche vainement un moyen de le préparer à l'état pur et en quantités un peu importantes. Moissan y réussit, en 1898, en réduisant l'iodure de calcium par un grand excès de sodium; il obtient le métal sous forme de lamelles cristallines.

Vers la même époque, on étudie de divers côtés l'électrolyse des sels de calcium fondus. Plusieurs électrolytes sont essayés, sans grand succès : chlorure de calcium seul ou mélangé à du fluorure de calcium ou à des chlorures alcalins. En 1902 cependant, Borchers et Stockem réalisent un électrolyseur qui leur donne du calcium à l'état spongieux; par compression et refusion, ils arrivent à un métal raffiné qui ne titre guère plus de 90 p. 100 de Ca.

C'est alors que Rathenau et Suter, appliquant au calcium un dispositif ingénieux, imaginé par eux, en 1896, pour la préparation du sodium, par-

viennent, en 1903, à séparer électrolytiquement le calcium sous forme compacte. Leur procédé est employé depuis 1904 à l'usine de Bitterfeld et donne du métal à 99,4 p. 100 de pureté moyenne. Depuis une douzaine d'années, la Société d'Électrochimie a également entrepris cette fabrication en France, dans son usine des Clavaux, et elle a su y apporter récemment des perfectionnements importants.

La production est faible et même intermittente, par suite de l'irrégularité de la consommation; bien qu'aucun chiffre officiel n'ait été publié, la production annuelle n'a jamais dû dépasser une centaine de tonnes.

Fabrication. — La méthode de fabrication consiste à électrolyser du chlorure de calcium anhydre, maintenu en fusion ignée. Toutes les additions proposées, telles que fluorure de calcium et chlorures alcalins, paraissent inutiles. D'une part, le chlorure de calcium fond plus bas que le métal et il n'est pas nécessaire par conséquent de chercher à abaisser le point de fusion du bain. De plus, la présence de chlorure de sodium ou de potassium dans l'électrolyte peut avoir pour résultat de faire passer du sodium ou du potassium dans le métal. En effet, la tension de décomposition du chlorure de calcium devient supérieure à celle du chlorure de sodium à partir de 750° et à celle du chlorure de potassium à partir de 950°; au voisinage et au-dessus de ces températures, on aura donc séparation de sodium ou de potassium.

Le chlorure de calcium hydraté est un sous-produit abondant de l'industrie de la soude Solvay; il faut malheureusement le porter aux environs de 800° pour le déshydrater, ce qui entraîne une élévation notable de son prix.

Le chlorure de calcium fondu est électrolysé dans une cuve cylindrique dont les parois latérales en charbon servent d'anode; la cathode est une tige verticale en fer, qui est suspendue dans l'axe de la cuve et qui vient affleurer la surface du bain. Le calcium se sépare à l'extrémité de cette tige; comme il y adhère fortement et qu'il ne tarde pas à se solidifier, il suffit de soulever progressivement la cathode, en maintenant la couche inférieure de calcium au contact du bain, pour obtenir, par dépôts successifs de calcium, une grosse tige de métal, dont la longueur augmente peu à peu.

Le métal brut, au sortir de l'électrolyseur, est souillé de chlorure et d'azoture de calcium; la présence de ces impuretés lui enlevant toute stabilité à l'air, il est indispensable de le raffiner, en le fondant, en vase clos, dans un bain de chlorure.

Emplois chimiques. — L'avidité avec laquelle le calcium absorbe la plupart des gaz en a fait préconiser l'emploi pour la production de vides avancés et pour le dosage de l'azote dans les gaz nobles, en particulier dans l'argon commercial.

Dans les industries de chimie organique, le calcium est utilisé comme réducteur et comme déshydratant; dans ce dernier emploi, il est supérieur aux métaux alcalins, car la réaction de déshydratation est moins violente et la basicité de l'oxyde formé, plus faible.

Des opinions assez diverses ont été émises touchant les qualités du calcium comme désoxydant et fixateur d'azote dans un bain d'acier; il semble qu'aucun essai sérieux n'ait été fait par des sidérurgistes compétents. Il se peut que le calcium pur soit un désazoturant plus actif que le magnésium et le titane; mais l'emploi, assez répandu, du silico-calcium, que l'on obtient au four électrique. est certainement plus économique et probablement plus avantageux. Cependant, le calcium pur a été employé avec succès pour le raffinage du nickel.

Comme réducteur métallurgique, le calcium compte quelques succès de laboratoire à son actif. C'est grâce à lui que M. Hackspill a pu préparer le potassium, le rubidium et le cæsium à un état de grande pureté. Dans la réduction des chlorures de baryum et de strontium et dans celle de l'anhydride borique, on n'a pas pu cependant éviter la formation d'alliages et celle de borure de calcium.

La grande chaleur d'oxydation du calcium laissait entrevoir la possibilité de le substituer à l'aluminium dans les réactions industrielles aluminothermiques et de créer ainsi la « calcothermie ». Mais le prix du calcium et son poids atomique le mettent en état d'infériorité manifeste; de plus, la réaction est souvent trop violente et le laitier de chaux trop peu fusible. L'emploi, comme réducteur aluminothermique, d'un alliage calcium-aluminium serait au contraire intéressant; le mélange 40 p. 100 de Ca et 60 p. 100 de Al, que recommande Goldschmidt. donnerait un laitier fondant environ 300 degrés plus bas que l'alumine. Si même le prix du calcium ne permet pas d'envisager actuellement d'aussi fortes teneurs, il ne faut pas oublier que l'introduction de 25 p. 100 de calcium dans l'aluminiun rend celui-ci très facile à réduire en poudre par broyage et qu'on aurait peut-être ainsi un procédé plus économique de préparer le réducteur granulé pour aluminothermie.

La fabrication de l'hydrure de calcium constitue actuellement un des principaux débouchés du calcium. Chauffé en vase clos dans un courant d'hydrogène, le métal se transforme en hydrure de calcium CaH^2, produit pierreux, gris-ardoise, connu dans l'industrie sous le nom d'*hydrolithe* et dont plusieurs centaines de tonnes ont été fabriquées par l'usine des Clavaux pour les besoins de l'armée. En effet, l'hydrure de calcium. mis au contact de l'eau, dégage à la fois l'hydrogène qu'il a absorbé et celui de l'eau qu'il décompose, en sorte qu'on peut recueillir plus de 1 m^3 d'hydrogène par kilogramme d'hydrolithe. L'appareil militaire, pour le gonflement des aérostats

en campagne, par le procédé à l'hydrure, permet de réaliser une vitesse de gonflement de 1.500 m³ à l'heure.

Emplois physiques. — Le calcium pur n'a reçu jusqu'ici aucune application d'ordre physique. On n'est pas, pour l'instant, en mesure d'émettre une opinion raisonnée sur son emploi comme conducteur électrique, emploi pour lequel 465 kg de calcium peuvent remplacer 506 kg d'aluminium. Il est probable que la différence des prix entre l'aluminium et le calcium s'amoindrira; il peut y avoir de ce côté un facteur nouveau, plus favorable. Mais on est encore très mal documenté sur les propriétés mécaniques et électriques du calcium et même sur sa résistance aux agents atmosphériques : de nouvelles recherches seraient nécessaires.

Un grand nombre de combinaisons du calcium avec d'autres métaux ont été décrites; leur énumération serait fastidieuse, car leur intérêt est, pour le moment, exclusivement scientifique. Les alliages aluminium-calcium à 8 à 10 p. 100 de Ca ont été proposés en 1917 pour les pièces de fonderie légères; ils ne paraissent pas s'être développés. Par contre, Frary a étudié une série d'alliages qui méritent d'être signalés et qui sont fabriqués actuellement aux États-Unis : un type à 97 p. 100 de Pb et 3 p. 100 de Ca fournirait un service remarquable comme métal de coussinet; on peut remplacer partiellement le calcium par du baryum ou du magnésium.

SODIUM.

Propriétés physiques. — Le sodium est un métal que les chimistes sont peut-être seuls à connaître sous sa véritable couleur d'un blanc d'argent éclatant; il faut prendre, pour la constater, des précautions spéciales. Au moment même où l'on coupe un morceau de sodium à l'air, la section se teinte d'un reflet violacé, qui masque la couleur propre du métal. Le sodium est assez mou, à la température ordinaire, pour se couper facilement au couteau. Il fond à 96°,5; il commence à se volatiliser vers 750° et il bout à 880°.

Sa densité (0,97) est inférieure à celle de l'eau, sur laquelle il flotte, en se déplaçant avec rapidité, s'il s'agit d'un simple globule de métal, par suite de la réaction chimique qui se produit.

Sa conductivité électrique (21,1) est presque les 2/3 de celle de l'aluminium (34,5). Grâce à cette conductivité élevée et à sa faible densité, le sodium est le métal qui, par unité de poids, est le meilleur conducteur : 298 kg de sodium équivalent, à ce point de vue, à 506 kg d'aluminium et à 1.000 kg de cuivre.

Propriétés chimiques. — Les propriétés mécaniques, ainsi que la stabilité à l'air, sont malheureusement peu satisfaisantes, sans quoi toutes les lignes électriques seraient probablement en sodium.

Même dans l'air sec, il est pratiquement impossible d'empêcher l'oxydation superficielle du métal; à l'air humide, la transformation en hydrate est plus rapide et plus profonde.

Parmi les produits d'oxydation que donne le sodium, deux seulement nous intéressent : le protoxyde hydraté ou soude caustique et le bioxyde, qu'on appelle aussi peroxyde de sodium.

Le sodium est, comme le magnésium et le calcium, un réducteur énergique, aussi bien à l'égard des composés minéraux que des substances organiques. Son action au rouge sur les chlorures d'aluminium et de magnésium a été autrefois utilisée dans la métallurgie de ces deux métaux. Il réduit l'eau à la température ordinaire, en fixant l'oxygène et en donnant de l'hydrogène qui se dégage et de la soude caustique qui se dissout dans l'eau en excès.

Il s'allie à la plupart des métaux et notamment au mercure, au plomb et à l'étain; certains procédés de préparation électrolytique du sodium utilisaient la formation de ces alliages.

Historique. — Le sodium fut d'abord fabriqué industriellement par la méthode Sainte-Claire Deville, qui consistait à réduire à haute température le carbonate de soude par le charbon, en présence de calcaire : le métal était mis en liberté à l'état de vapeur et était recueilli par condensation. Castner et Netto apportèrent des perfectionnements sensibles au procédé primitif de fabrication, en réduisant la soude caustique par le carbure de fer ou par le coke.

Mais tous ces procédés chimiques étaient coûteux. Aussi le sodium restait-il un métal cher, et, à plus forte raison, l'aluminium qu'il servait à préparer. En 1891, Castner réussit pour la première fois à produire industriellement le sodium par électrolyse, dans des conditions beaucoup plus économiques que celles des usines chimiques, qui durent cesser leur fabrication. Le procédé électrolytique Castner, né en Angleterre, s'implanta en Allemagne et aux États-Unis. En France, M. Hulin arriva, en 1901, à mettre au point, avec la collaboration de la Société d'Électrochimie, un électrolyseur qui présentait, par rapport à celui de Castner, des avantages techniques assez sérieux et qui est en fonctionnement dans les usines des Clavaux et de Martigny.

L'appareil de Castner et celui de la Société d'Électrochimie et Hulin utilisent tous deux comme électrolyte la soude caustique fondue et ce sont

eux qui fournissent la majeure partie de la production mondiale en sodium. D'autres appareils ont été cependant imaginés, dont l'un, celui de la Société chimique de Bâle, mérite une mention spéciale, car il est le premier, et peut-être le seul, à permettre l'emploi comme matière première du chlorure de sodium.

La production annuelle de sodium pouvait, en 1913, être évaluée à 6.000 t, dont 1.800 pour l'Amérique et 4.200 pour l'Europe ; elle se répartissait entre une douzaine d'usines.

Procédés chimiques. — Il serait téméraire d'affirmer que la métallurgie chimique ne réussira pas, un jour, à triompher, à son tour, de la méthode électrolytique ; on a essayé de la faire revivre. C'est ainsi que la Société de Griesheim a pensé à la réduction du fluorure de sodium par l'aluminium : la réaction est incomplète et l'aluminium trop coûteux. On a songé aussi à un réducteur de plus bas prix, qui n'a pas peut-être donné encore toute sa mesure : le carbure de calcium, qui met en liberté le sodium de divers composés, tels que fluorure, sulfure, chlorure. Toutes les tentatives faites jusqu'ici sont restées infructueuses et sans effet industriel.

Procédés électrolytiques. — Le chlorure de sodium, sel gemme ou sel marin, est le minerai de sodium par excellence. Il est abondant, bon marché, et il cristallise à l'état anhydre, de sorte qu'il n'y a pas à le déshydrater.

On ne comprend donc pas, à première vue, pourquoi on ne l'emploie pas couramment, comme matière première, pour la fabrication électrolytique du sodium, tout comme on emploie les chlorures de magnésium et de calcium fondus pour la préparation du magnésium et du calcium.

L'explication réside dans la considération des points de fusion respectifs du sel et du métal. La différence entre les températures de fusion du chlorure de magnésium et du magnésium, entre celles du chlorure de calcium et du calcium, n'est pas grande : + 60 degrés entre le chlorure de magnésium et son métal ; — 25 degrés entre le chlorure de calcium et le calcium. A la température de fusion du bain, le métal mis en liberté n'est que peu ou pas surchauffé. Au contraire, le chlorure de sodium fond à 800° et le sodium métallique à 97° seulement, en sorte que le surchauffage du métal est ici de 700 degrés. Dans ces conditions, il s'oxyde avec une extrême facilité et, à la température de 800°, il commence à entrer en ébullition.

Le seul remède consiste à abaisser le point de fusion du chlorure de sodium, par exemple par addition de chlorure de potassium ou de fluorure de sodium; on arrive ainsi à obtenir un électrolyte complexe, fusible entre 650° et 700°. Même alors, la conduite de l'opération est difficile, la construc-

tion de l'électrolyseur délicate et la consommation d'énergie électrique importante. En dehors de l'appareil de la Société chimique de Bâle, qui est installé à l'usine de Monthey, en Suisse, deux autres électrolyseurs à chlorure de sodium fonctionnent industriellement, l'un en France à l'usine de Bozel, l'autre aux États-Unis, en Virginie. La comparaison des avantages et des inconvénients respectifs de l'électrolyse du chlorure et de celle de l'hydrate est une question complexe, dont je ne saurais vous exposer ici tous les éléments.

En fait, la soude caustique ou hydrate de sodium est la matière première communément employée dans les fabriques de sodium. Elle fond aux environs de 310°, ce qui représente, pour le métal, un surchauffage de 220 à 240 degrés, qu'il supporte fort bien. La soude est évidemment plus chère que le chlorure, mais elle permet une marche beaucoup plus facile, plus régulière, avec une moindre consommation d'énergie. La séparation du sodium est ici accompagnée de réactions secondaires assez compliquées et notamment d'un dégagement d'hydrogène et d'oxygène; aussi le fonctionnement des électrolyseurs à soude est-il caractérisé par un bruit continuel de fusillade, provenant de l'inflammation du mélange explosif des deux gaz. Le sodium métallique, plus léger que l'électrolyte fondu, vient surnager et on le recueille périodiquement, en le puisant à l'aide d'une écumoire en fer, percée de petits trous : la soude liquide mouille le fer et s'écoule par les orifices, tandis que le métal, ne mouillant pas le fer, reste sur l'écumoire.

Le sodium brut est soumis à une refusion, pour le débarrasser des scories de soude dont il est imprégné; la différence de fusibilité des deux corps rend cette opération très facile.

Emplois physiques. — Les emplois actuels du sodium tendraient à le faire considérer comme un produit chimique plutôt que comme un métal. En effet, malgré les études assez étendues qui ont été poursuivies sur de nombreux alliages de sodium, aucun de ceux-ci n'est encore l'objet d'une application industrielle courante.

Ces alliages sont en général peu résistants aux agents atmosphériques et encore moins aux solutions salines. Les formules d'alliages, comprenant le sodium dans leur composition, ne manquent certes pas; elles n'ont pas été assez éprouvées pour que je juge utile de vous les énumérer.

Je dois pourtant vous signaler que le sodium exerce sur le plomb la même action durcissante que le magnésium et le calcium; il peut, paraît-il, remplacer ces métaux dans la composition des alliages pour coussinets, dont je vous ai entretenu précédemment. En 1919, Gœbel a étudié les propriétés mécaniques des alliages plomb-sodium; il a constaté que la dureté augmente

jusqu'à une teneur de 0,8 p. 100 en Na; qu'elle reste à peu près constante entre 0,8 et 2,5 p. 100 et qu'elle diminue au delà. L'addition de mercure donne des courbes plus régulières et Gœbel croit que les alliages plomb-sodium-mercure sont susceptibles de certains usages techniques.

J'ai attiré votre attention sur la possibilité de l'emploi du sodium comme conducteur électrique. Des essais déjà anciens, puisqu'ils remontent à 1906, ont été entrepris par Betts : le sodium était coulé à l'intérieur de tubes de fer, qui se vissaient bout à bout. A l'usage, ces conducteurs, établis pour 500 A, se comportèrent d'une façon satisfaisante pendant plusieurs mois et sans montrer de détérioration; il y a eu là une initiative intéressante, qui peut susciter de nouvelles tentatives.

Emplois chimiques. — Les applications d'ordre chimique n'ont jamais fait défaut au sodium, qui est employé comme matière première ou comme agent réagissant dans un certain nombre d'industries.

Il a servi autrefois de base à la fabrication de l'aluminium et à celle du magnésium. Ces débouchés lui ont été fermés, par la substitution de la méthode électrolytique à la méthode chimique pour ces deux métallurgies. Il n'a pas trouvé, depuis lors, d'applications nouvelles dans la réduction des chlorures : Shunter a pu cependant obtenir, par ce moyen, du titane à 99,9 p. 100 de pureté.

Jaubert et la Société d'Électrochimie ont mis au point, en 1908, un curieux procédé de préparation du potassium. Si l'on chauffe en vase clos, à 300°, un mélange de sodium et de potasse caustique, la plus grande partie du sodium passe à l'état de soude en mettant du potassium en liberté et on obtient un alliage à 77 p. 100 de K et 23 p. 100 de Na, d'où l'on peut séparer le potassium par distillation. Cet alliage est liquide à la température ordinaire et il prend feu spontanément, surtout lorsqu'il est divisé, au contact de l'air. Il est préparé à l'usine des Clavaux, où il sert de point de départ à une autre fabrication, dont il sera question plus loin.

Le sodium a été proposé comme désoxydant dans la sidérurgie; cette application paraît se heurter à un grave inconvénient, car le revêtement du four ne manquerait pas d'être rapidement attaqué.

Les synthèses organiques font un emploi fréquent du sodium; l'industrie de l'indigo synthétique, pour n'en citer qu'une seule, en consomme une quantité importante.

Mais les deux débouchés principaux du sodium sont la fabrication des cyanures et celle des peroxydes. On fait intervenir de diverses façons le sodium dans la synthèse des cyanures : ou bien par action du métal sur le ferrocyanure de potassium, ce qui donne un cyanure double de potassium

et de sodium; ou bien par réaction, en une ou deux phases, du sodium sur l'ammoniac et le carbone, ce qui conduit au cyanure de sodium pur. Ce dernier moyen a servi, pendant la guerre, à préparer l'acide cyanhydrique qui entrait dans la composition de la vincennite.

Par oxydation du sodium dans des conditions convenables, on obtient du peroxyde de sodium. Ce produit est soluble dans l'eau sans décomposition si l'on évite l'élévation de température, et la solution, fonctionnant comme de l'eau oxygénée naissante, sert au blanchiment d'un grand nombre de matières. Traité par un acide, par exemple l'acide fluorhydrique, le peroxyde de sodium donne de l'eau oxygénée; un procédé plus élégant, indiqué par M. Hulin, consiste à traiter le peroxyde par l'acide fluorhydrique, en présence d'une proportion convenable d'alumine : on obtient, en même temps que l'eau oxygénée, de la cryolithe artificielle qui sert à la fabrication de l'aluminium. C'est encore à partir du peroxyde de sodium qu'on prépare le perborate de sodium et toute la série des peroxydes métalliques pharmaceutiques, en particulier celui de zinc.

Enfin le peroxyde de sodium, aggloméré après addition de traces d'un sel de cuivre ou de nickel agissant comme catalyseur, donne, au contact de l'eau, un dégagement régulier d'oxygène. Sous cette forme, il a reçu le nom d'*oxylithe* ou d'*oxone*. Mais si, au lieu de partir de sodium pur, on part de l'alliage liquide potassium-sodium pour préparer le peroxyde alcalin, le produit d'oxydation se rapproche de la composition M^2O^3, au lieu de M^2O^2, c'est-à-dire que la quantité d'oxygène mise en liberté par l'eau est beaucoup plus considérable. Ce peroxyde mixte, ou oxylithe PS, est fabriqué par la Société d'Électrochimie, comme tous les dérivés précédents; il sert à produire l'oxygène, au moyen d'appareils spéciaux, pour la respiration artificielle ou pour le renouvellement de l'oxygène en atmosphère confinée, par exemple dans les sous-marins. Il est à remarquer que les alcalis formés absorbent l'acide carbonique de la respiration.

*
* *

Je me suis efforcé de vous faire un portrait, aussi fidèle que possible, de ces métaux qui sont, avec l'aluminium, les représentants les plus importants des industries électrolytiques par voie ignée. J'ai cherché d'ailleurs à me garder d'un optimisme parfois fréquent en matière électrochimique ou électrométallurgique et d'autant plus fâcheux qu'en éveillant des espoirs irréalisables, il provoque des déceptions souvent injustes.

Je n'ai pu évidemment vous donner, par cet exposé rapide, qu'une

impression sommaire de la situation actuelle et de l'avenir probable de ces industries. La situation actuelle vous est connue : la capacité de production a été portée au maximum pour les besoins de guerre et se trouve maintenant bien supérieure aux demandes normales du temps de paix. L'avenir est subordonné au développement des applications, dont je vous ai signalé l'existence ou la possibilité, et ce développement exige, pour s'affirmer, la coordination de deux efforts, celui des producteurs et celui des consommateurs.

La Semaine des Métaux légers a eu pour but de susciter cette coordination, et son importance ressort assez du fait qu'elle a été organisée sous les auspices de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale.

GEORGES FLUSIN,
Professeur à l'Université de Grenoble.

L'EMPLOI DE L'ALUMINIUM DANS LES INDUSTRIES DE FERMENTATION (BRASSERIE, ETC.), EN LAITERIE, EN FROMAGERIE, ETC.[1]

PAR

M. Trillat,
Membre du Conseil.

Messieurs,

Les conférenciers qui vont me suivre, en vous parlant de l'aéronautique et de l'automobilisme, vous montreront le rôle de l'aluminium pour la conquête de l'air et de l'espace. Ma tâche est plus terre à terre : il s'agit de l'emploi de l'aluminium dans nos ménages et d'une façon générale, dans les industries d'alimentation. Pour l'accomplissement de cette tâche, j'ai besoin de toute votre indulgence, d'autant plus que ce sujet m'obligera de vous parler des infirmités de l'aluminium alors qu'il s'agit aujourd'hui de sa glorification....

En 1889, je signalais, à propos de la fabrication du formol, que la présence de traces de certains métaux étrangers provoquait l'altération rapide du cuivre tandis que la présence d'autres impuretés la retardait.

Quelques années plus tard, lorsque les applications de l'aluminium commencèrent à se répandre, je crus apercevoir une certaine analogie entre les causes d'altération de ce métal et celles que j'avais observées pour le cuivre. Sur la demande de la Société électrométallurgique de Froges, j'entrepris leur étude qui, en passant du domaine du laboratoire dans le domaine industriel, me conduisit, par l'enchaînement des circonstances, à m'occuper de l'application de l'aluminium dans certaines industries d'alimentation, principalement dans celle de la brasserie.

C'est cette considération qui m'a fait accepter aujourd'hui ce rôle de conférencier et ce sont les résultats des observations faites dans mon laboratoire ou dans des usines, pendant plusieurs années, en collaboration avec MM. Teumann, Sauton et Fouassier, jointes aux observations d'autres auteurs, que je vais essayer de vous résumer.

(1) Conférence faite par l'auteur, en séance publique, le 25 mai 1921.

*
* *

Les applications de l'aluminium aux industries d'alimentation peuvent se diviser en deux classes : celles qui concernent la fabrication des ustensiles culinaires et celles qui ont rapport à la fabrication, à la conservation et au transport des boissons et matières alimentaires. A la première catégorie, appartiennent les objets que l'on trouve communément dans les ménages et qui constituent ce qu'on appelle la batterie de cuisine; la deuxième comporte spécialement les appareils, tels que cuves de fermentation, appareils à distiller, alambics, récipients et réservoirs utilisés dans les laiteries, brasseries, distilleries, etc.

Quelle que soit l'industrie considérée, la question dominante, celle qui a le plus préoccupé les intéressés est l'usure de l'aluminium provenant des attaques ou des altérations qu'il subit dans diverses circonstances communes à tous ses emplois, sous l'action de l'air, de l'eau, des acides, des alcalis et des sels.

Avant d'aborder séparément les applications de l'aluminium dans les industries d'alimentation, il est donc nécessaire de parler de ces altérations qui présentent un intérêt général, ce qui m'amène à diviser mon sujet en deux parties. La première aura trait aux altérations de l'aluminium, la deuxième à ses applications.

I. — Altérations de l'aluminium.

Les métaux usuels, fer, cuivre, zinc, étain, sont plus ou moins altérables, mais la longue pratique acquise à travers les siècles a fixé plus ou moins exactement les conditions d'emploi de ces métaux, en sorte que nous ne sommes plus surpris de voir certains d'entre eux, comme le fer, s'altérer sous l'influence de l'air et de l'humidité. Pour l'aluminium, par suite de l'ignorance dans laquelle nous nous trouvons des conditions exactes dans lesquelles il doit être employé, on est étonné de le voir s'user rapidement dans certains cas : de là des mécomptes nombreux....

Je voudrais bien savoir comment le fer est entré dans nos habitudes. A l'époque où ce métal était encore une curiosité, quelle ne dut pas être sa défaveur lorsqu'on vit apparaître sur sa surface cette lèpre que nous appelons la rouille!

Malheureusement, aucun écrit de ces temps préhistoriques ne nous a légué ce sentiment. Quant à la transmission par les paroles, elle a été emportée dans le torrent des siècles. Une commission de chimistes de cette époque reculée aurait pu prédire qu'en comparaison du bronze et à cause de son oxydabilité, le fer n'aurait jamais d'emploi dans nos ménages!

*
* *

Qu'entend-on par altérations de l'aluminium? Les altérations de l'aluminium sont constituées par des corrosions d'aspects différents, qui hâtent la désagrégation du métal et qui proviennent de causes chimiques ou physiques. On peut distinguer trois sortes d'altérations :

1° Les altérations qui proviennent de l'action des acides et des alcalis et qui ne sont en réalité qu'une attaque rapide du métal. Elles ne rentrent pas dans le cadre de mon sujet;

2° Les altérations produites par le contact avec l'eau ou avec des solutions extrêmement étendues de sels alcalins, alcalino-terreux ou autres substances, circonstances qui peuvent se rencontrer constamment dans les industries qui nous intéressent;

3° Altérations à l'air et altérations spontanées.

Je suivrai la question dans cet ordre.

Je ferai remarquer de suite que, parmi ces altérations, les unes sont provoquées par des agents extérieurs : c'est le cas de l'aluminium immergé dans un liquide d'attaque; les autres sont dues à l'aluminium qui peut porter en lui-même des germes d'altérabilité provenant de certaines impuretés qu'il renferme ou de sa structure physique. Enfin, il y aurait lieu d'établir une différence entre les altérations de l'aluminium d'anciennes ou de nouvelles fabrications.

Cette question d'altération est donc très complexe, et la classification que je vais suivre était utile pour plus de clarté.

Altérations de l'aluminium immergé dans l'eau ou les solutions salines ou acides très étendues. — Le cas d'altération de l'aluminium le plus connu est celui qui provient de l'aluminium avec l'eau. Cependant, dans le domaine de l'alimentation, l'aluminium peut être aussi en contact avec des solutions et avec certains acides organiques. Nous allons examiner rapidement tous ces cas en commençant par celui de l'eau. Mais, pour mieux saisir la question, il faut d'abord parler de l'aspect général de ces dépôts et de leurs compositions chimiques.

Aspects généraux. — Les altérations diverses de l'aluminium affectent des formes de dépôts, très diverses, et de taches, non seulement suivant la nature acide ou alcaline des liquides avec lesquels ce métal est en contact, mais aussi suivant la composition et les influences mécaniques qu'il a subies. On pourrait les classer ainsi :

1° *Dépôts sous forme de couche blanchâtre très adhérente* et répandue d'une façon uniforme sur toute la surface du métal;

2° *Efflorescences ou bosselures disposées irrégulièrement* et qui se détachent facilement de la surface du métal, laissant à nu, quand on les enlève, une surface dépolie et rugueuse;

3° *Couches blanches* affectant les deux formes précédentes, mais disposées très régulièrement, souvent en sillons parallèles;

4° *Enduit noirâtre ou diversement coloré très adhérent* selon la nature des impuretés de l'aluminium, ou selon la composition du liquide avec lequel il est en contact.

Dans certains cas, les plaques restent unies et l'on voit se former des

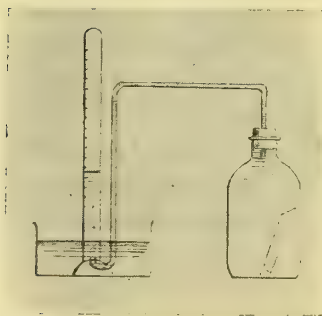


Fig. 1. — Dispositif pour apprecier la rapidité de certaines altérations de l'aluminium immergé dans un liquide.

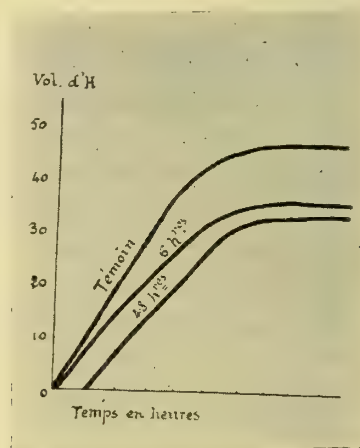


Fig. 2. — Dégagement d'hydrogene (mesuré en centimètres cubes) provoqué par l'attaque de l'aluminium par un liquide en fonction du temps.

houppes d'alumine qui, après s'être détachées de la surface du métal, tombent au fond du liquide.

Pour l'étude de l'aspect des altérations de l'aluminium, la métallographie peut donner d'utiles indications. Pour évaluer la rapidité de l'attaque, d'une façon sommaire, j'ai imaginé de mesurer la quantité d'hydrogène qui se dégageait dans une éprouvette sous l'influence du contact des liquides dont on étudie l'action. Ce moyen rudimentaire est suffisant quand il s'agit de comparer, pour plusieurs échantillons, la rapidité d'attaque dans un temps donné. Voici (fig. 1) le schéma de l'appareil qui m'a servi.

La figure 2 représente, à titre d'exemple, le dégagement d'hydrogène en fonction du temps, dans deux cas étudiés. Enfin la figure 3 montre le dispositif que nous avons imaginé au Laboratoire, avec mon collaborateur M. Fouassier, pour étudier la formation des dépôts sous l'influence d'un

contact discontinu d'un liquide et de l'air : c'est le cas, par exemple, d'un tuyau alternativement rempli et vidé. Le mouvement de va-et-vient du liquide est obtenu par un interrupteur à mercure qui fonctionne par le vide provoqué par une simple trompe de laboratoire.

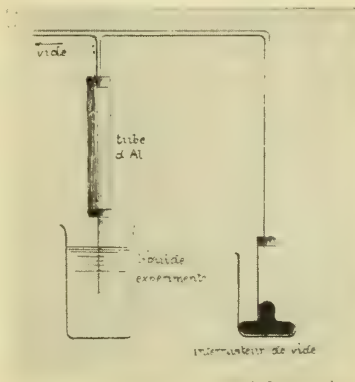


Fig. 3. — Dispositif pour l'étude des altérations produites dans des tubes d'aluminium par le passage discontinu d'un liquide.

Analyse des dépôts. — Il arrive souvent que les plaques d'aluminium augmentent de poids à la suite de leur immersion dans un liquide d'attaque. Ce phénomène provient de ce que le dépôt est fixé à la surface du métal. Il est souvent très difficile à détacher et le calcul de la perte exacte de l'alumine présente ainsi des causes d'erreurs notables. J'ai analysé à plusieurs reprises les dépôts d'aspect blanchâtre formés sur des plaques d'aluminium. Leur composition varie quantitativement, mais, comme le montre le tableau analytique suivant, les dépôts semblent formés des mêmes éléments comme constituants principaux.

	Chaux p. 100.	Silice p. 100.	Alumine p. 100.	Eau p. 100.
Dépôt provenant d'une plaque d'aluminium ayant séjourné 3 mois dans une eau à 40 degrés hydrotimétriques.	6,2	1,50	83,35	8,95
Dépôt provenant du grattage d'un ustensile de cuisine usagé	3,0	2,05	85,80	9,15

Quant aux dépôts blancs formés sur l'aluminium plongé dans des liquides acides, ils contenaient presque exclusivement de l'alumine.

Influence du degré hydrotimétrique. — L'altération de l'aluminium en contact avec l'eau se produit aussi bien dans une eau tranquille (cas des récipients, réservoirs, etc.) que dans une eau courante (cas des canalisations). Elle dépend surtout de l'importance du degré hydrotimétrique total de l'eau.

Pour une eau de titre hydrotimétrique donné, l'absence ou la présence de l'air dissous a une grande influence sur la formation des dépôts. Les essais faits sur une eau à 28 degrés hydrotimétriques, privée d'air par ébullition et dans une atmosphère d'hydrogène, ont donné les résultats suivants comparativement à la même eau avant ébullition.

L'essai a eu lieu sur des plaques de 10 cm de longueur sur 8 cm de largeur. Durée de l'expérience : 85 jours, température : 14°.

	Poids initial (en grammes).	Poids après essai.	Perte de poids.
I. Eau à 28 degrés hydrotimétriques, privée d'air.	6,500	6,495	0,005
II. — — — . . .	6,335	6,334	0,001
III. La même eau avant ébullition	6,450	6,419	0,031
IV. — —	6,332	6,308	0,024

L'air dissous que renferme une eau minéralisée contribue donc à accélérer l'attaque.

Quant à la température de l'eau, quelle que soit sa composition, elle exerce une influence appréciable sur la rapidité de l'attaque, comme le montrent les résultats suivants obtenus sur une eau marquant 22 degrés hydrotimétriques et à des températures différentes (durée de l'expérience : 68 jours).

Températures.	Poids initial de la plaque (en grammes).	Après immersion.	Perte.
12-15°	5,250	5,240	0,010
28°	6,150	6,128	0,022
40°	5,400	5,369	0,031

J'ajouterai que, par la présence de l'acide carbonique dans l'eau, l'altération de l'aluminium est légèrement activée.

Enfin, l'eau distillée n'a aucune action sur l'aluminium si elle est privée d'air; en présence de l'air, le métal subit une très légère altération.

Alcalis, sels et acides minéraux. — On sait que les solutions des alcalis libres attaquent violemment l'aluminium. J'ai étudié la rapidité de cette attaque et j'ai constaté ce résultat assez peu connu que les alcalis *à l'état anhydre*, comme c'est le cas pour la soude solide à froid, n'attaquaient pas l'aluminium.

Le cas d'alcalis libres en contact avec l'aluminium ne se présente pas dans les industries d'alimentation, mais on peut se trouver en présence de solutions de sels alcalins ou alcalino-terreux.

Le degré de concentration des solutions salines, quelles qu'elles soient, exerce une influence sur l'attaque de l'aluminium. Pour chaque solution de sel, il existe des degrés de concentrations optima qui augmentent la rapidité d'attaque. C'est notamment le cas pour le chlorure de sodium.

Cette remarque a son importance. En effet, chaque fois qu'on abandonne dans un récipient d'aluminium de l'eau plus ou moins minéralisée, celle-ci passe, au cours de son évaporation lente, par la concentration qui correspond à cette condition optima d'attaque. C'est l'explication que l'on peut fournir

pour la formation des taches produites sur l'aluminium exposé à l'air par l'évaporation d'une goutte d'eau très minéralisée.

L'aluminium est attaqué par les acides minéraux; ce cas ne se présente pas dans les industries d'alimentation. Je tiens cependant à vous donner quelques renseignements au sujet de ce genre d'attaque à cause des bizarreries qu'il présente. Les acides chlorhydrique et sulfurique attaquent fortement l'aluminium avec perforation rapide, même dans le cas de solutions étendues. L'acide phosphorique et l'acide sulfureux, sec ou humide, ne l'attaquent pas. L'acide azotique attaque très peu l'aluminium quand il est très concentré, pourvu toutefois que la température ne dépasse pas 25°.

Le tableau suivant donne, à titre d'exemple, les résultats obtenus avec des échantillons d'aluminium d'une surface de 56,5 cm² plongés pendant un laps de temps variable dans l'acide azotique, à des concentrations et températures différentes.

Poids initial des lames (en grammes).	Pourcentage de la perte après une période de 15 jours.	Pourcentage de la perte totale après 105 jours dans l'acide.	Concentration de l'acide.	Température.
7,4742	0,542	1,03	Fumant . .	0°
7,2497	0,917	1,57	—	5°
7,6610	1,423	2,58	—	18°
7,2925	4,270	6,54	—	28°
7,7810	8,760	16,70	Concentré.	18°
7,6930	31,100	58,50	—	28°
7,3256	11,778	22,40	50 p. 100.	18°
7,2395	46,100	82,60	—	28°

Acides organiques. — Il peut arriver, dans la pratique, que le métal se trouve en contact avec des acides organiques, libres ou combinés. C'est le cas, par exemple, des acides acétique, formique, oxalique, malique, tartrique et lactique. D'après mes recherches, l'attaque est, d'une façon générale, de l'ordre de grandeur de celle que l'on obtient avec le cuivre dans les mêmes conditions d'expériences sauf pour les acides acétique et formique qui dissolvent plus ou moins l'aluminium selon leur concentration et la température.

A titre d'exemple, voici les résultats fournis dans une expérience pour les acides acétique et formique. Les plaques étaient soumises à l'action directe des vapeurs de ces acides à chaud (40°) ou à froid (10°-15°) ou plongées dans les liquides à ces mêmes températures (durée des essais : 1 semaine).

	A chaud		A froid	
	Vapeur. Perte p. 100.	Liquide. Perte p. 100.	Vapeur. Perte p. 100.	Liquide. Perte p. 100.
Acide acétique concentré. . . .	0,205	0,815	0,105	0,615
Acide formique concentré. . . .	0,245	0,688	0,219	0,345

Influence des impuretés sur les altérations dans les liquides d'attaque. — L'influence des impuretés contenues dans l'aluminium semble différente selon qu'on envisage l'aluminium plongé dans un liquide ou exposé à l'air. Je vais d'abord examiner le premier cas : le deuxième sera examiné plus loin à propos des altérations à l'air.

L'aluminium du commerce renferme actuellement 0,5 à 2 p. 100 d'impuretés, alors qu'anciennement, ce taux dépassait 5 p. 100. Elles sont constituées principalement par du fer et du silicium, avec des traces de cuivre, de titane, d'alumine provenant de l'oxydation du métal lors de sa coulée, de carbone, de soufre et d'azote. Avant l'adoption des procédés électrolytiques, l'aluminium renfermait, en notables proportions, du cuivre, du calcium et du sodium; ce sont ces métaux dont la présence exerce une action néfaste sur l'aluminium. Aussi les altérations qui résultent de la présence de ces métaux, dont je parlerai plus tard, n'ont plus qu'un intérêt historique.

Reste l'influence du fer et du silicium sur l'altération de l'aluminium. Pour m'en rendre compte, j'ai fait des expériences aussi nombreuses que variées en vue de déterminer la rapidité de l'attaque de plaques d'aluminium renfermant des proportions variables de fer et de silicium. Les plaques étaient plongées dans les liquides d'attaque; on mesurait la quantité d'hydrogène dégagé dans un temps donné et on évaluait les variations de poids de l'aluminium après le temps expérimenté, opération délicate car la formation de dépôts a pour effet d'augmenter le poids des échantillons. Il est difficile de détacher complètement ces dépôts de leurs plaques.

D'une manière générale, les résultats ont montré que, dans le cas que nous envisageons, c'est-à-dire celui de l'attaque de l'aluminium immergé dans les liquides d'essais, la différence de la rapidité d'altération n'était pas appréciable. Aussi — j'exprime ici une opinion toute personnelle, — je suis autorisé à penser que le fer et le silicium ne jouent pas un rôle aussi considérable qu'on l'a prétendu. Le rôle de ces impuretés ne semble pas encore établi d'une façon bien nette, et il serait utile de reprendre cette étude.

D'ailleurs, beaucoup d'observations sur ces genres d'altérations ont été faites à une époque où le métal, par suite d'une métallurgie défectueuse, était poreux et renfermait de l'alumine dont la présence libre. à coup sûr, exerce une action favorisante sur l'oxydation du métal. On a donc attribué dans beaucoup de cas à la présence d'impuretés des effets qui auraient dû l'être à des causes physiques dont nous parlerons plus loin.

J'ajouterai que, si certains métaux, comme le cuivre, le calcium, hâtent la désagrégation du métal, la présence de certaines autres substances comme celle de l'arsenic, semblent la ralentir. Cette influence de retard dans l'altération s'exerce, d'après mes recherches, non seulement quand ces éléments

sont renfermés dans l'aluminium, mais aussi quand ils sont contenus dans le liquide d'immersion.

Altération spontanée de l'aluminium à l'air. — Il existe un autre genre d'altération de l'aluminium dans lequel le rôle des impuretés est plus considérable : c'est le cas de l'altération spontanée de l'aluminium à l'air.

En 1910, une commission fut instituée par le Ministère de la Guerre pour étudier les causes d'altération du matériel d'aluminium utilisé par l'armée. L'étude du matériel altéré montra que, seul l'aluminium renfermant du cuivre était altéré. Les altérations qu'on observait étaient de deux sortes : piqûres ou exfoliations. Le métal devenait poreux et des écailles métalliques, en partie oxydées, s'en détachaient : bientôt les tôles se perforaient sur une large surface.

M. Hanriot a étudié ce genre d'altération : il a reconnu qu'elle se continuait dans le vide. D'autres cas analogues furent signalés un peu partout.... Comme on le voit, il ne s'agirait plus ici, comme précédemment, d'une attaque chimique aussi brutale. Il s'agit plutôt d'une maladie du métal, analogue à celle de l'étain : cependant les essais d'ensemencement de la maladie qui réussirent si bien pour l'étain ont échoué pour l'aluminium.

Différentes hypothèses ont été faites pour en donner l'explication. S'agit-il d'une transformation allotropique? M. Hanriot ne le pense pas. En se basant sur les résultats d'analyses de la poudre détachée de l'aluminium altéré, et qui montrent que le rapport $\frac{Al}{Cu}$ est beaucoup plus grand que dans celui du métal resté indemne, il a émis l'hypothèse que cette désagrégation pourrait bien provenir d'une migration du cuivre avec formation de grains d'alliage riches en cuivre et se soudant mal au reste de l'aluminium.

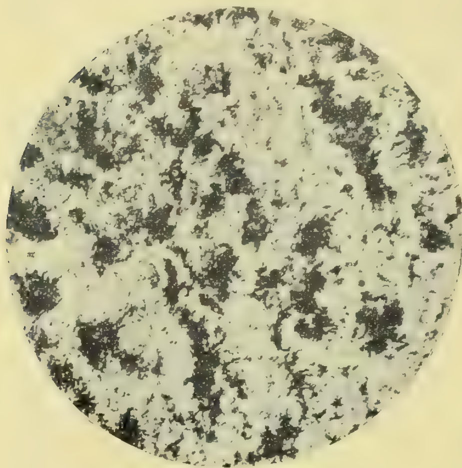
On peut encore faire l'hypothèse que le cuivre joue un rôle différent selon qu'il est libre ou combiné, ce qui expliquerait les contradictions que j'ai observées.

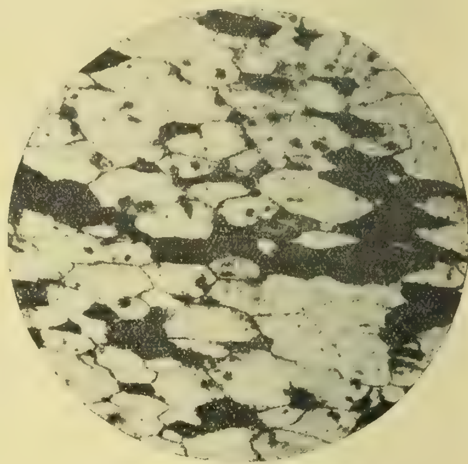
L'altération spontanée en magasin des objets d'aluminium fabriqués par emboutissage a fait l'objet d'études très nombreuses de la part de Ditte et Moissan, en France; de Heynet et Bauer, en Allemagne. M. H. Le Chatelier (1), de son côté, a examiné des ustensiles culinaires à des états d'altération très divers et il est arrivé à établir, par la micrographie, la différence entre un aluminium sain et le même métal désorganisé après quelques mois d'usage.

L'échantillon sain (fig. 4), après attaque dans une solution de sel marin d'après la micrographie de M. Le Chatelier, présente des taches noires

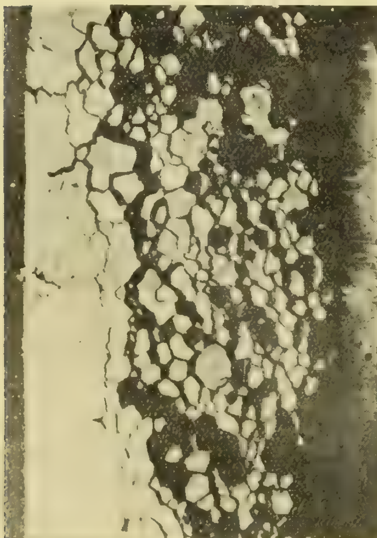
(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1911, t. I, p. 650.

correspondant à des attaques irrégulièrement localisées sur la surface de l'échantillon; au contraire, l'échantillon altéré (fig. 5) montre sur toute sa


Fig. 4. — Aluminium sain.


Fig. 5. — Aluminium altéré.

surface un réseau cellulaire continu analogue à celui de la plupart des métaux cristallisés par fusion ou recuits. D'après M. Le Chatelier, la désagrégation du métal proviendrait de l'ouverture des joints cellulaires pouvant résulter, soit d'une action mécanique, soit d'une action chimique. L'attaque par le courant de la pile suffit pour provoquer ce décollement en quelques secondes et détacher des grains métalliques. Leur enlèvement laisse à la surface les trous noirs polygonaux visibles sur la figure 6. Leurs contours réguliers montrent nettement qu'ils occupent la place d'anciennes cellules disparues.


Fig. 6. — Aluminium spontanément altéré à l'air.

(Les trois micrographies des figures 4, 5 et 6 proviennent de la collection de M. Le Chatelier que je tiens ici à remercier.)

D'après les recherches poursuivies pendant plusieurs années à mon laboratoire dans des conditions diverses, l'altération d'une plaque d'aluminium exposée aux intempéries dépend, en dehors de la pureté du métal, du degré hygrométrique de l'atmosphère, de la composition chimique de l'humidité et de celle de l'air.

Selon la plus ou moins grande minéralisation des gouttelettes de pluie qui finissent toujours par laisser un résidu par évaporation, le métal peut résister très longtemps ou être un peu plus rapidement attaqué. C'est le cas, par exemple, de l'aluminium exposé à l'humidité de la mer ou aux émanations gazeuses de certaines industries. Je rappellerai que l'on se garantit, en grande partie, de ces altérations par le vernissage ou même un simple graissage renouvelé de loin en loin.

INFLUENCE EXERCÉE SUR L'ALTÉRABILITÉ PAR LES FACTEURS PHYSIQUES. — Les diverses opérations que l'on fait subir à l'aluminium, telles que le laminage ou l'écrouissage et le recuit, exercent une action très nette sur l'altérabilité de l'aluminium. J'ai pu déjà, en 1905, en faire la démonstration au moyen de l'appareil rudimentaire dont j'ai parlé plus haut.

Influence du laminage. — J'ai indiqué, à propos de l'aspect des corrosions de l'aluminium, que les taches et les dépôts se formaient parfois parallèlement. Une étude attentive a montré que ces différences d'aspect, observées sur la disposition des dépôts, provenaient surtout du laminage de l'aluminium qui a, comme effet, celui d'accélérer légèrement l'attaque du métal.

On peut se demander à quoi est due cette accélération dans l'attaque de l'aluminium laminé. On peut l'attribuer aux traces de fer laissées par le laminoir sur les surfaces de l'aluminium et pouvant former un couple voltaïque; on peut encore l'attribuer à la formation d'un couple thermo-électrique provenant des modifications dans le métal survenues à la suite de la compression.

Dureté. — Quant aux plaques dures, elles sont plus facilement attaquées que les plaques douces. Le tableau suivant donne une notion de cette différence que l'on peut observer entre les échantillons de tôle d'aluminium ayant un degré de dureté plus ou moins grand. (Dimensions des lames d'essais : 12 cm de longueur sur 6 cm de largeur ; le liquide d'attaque était constitué par une solution de soude au 1/1 000.)

	Essai.	Poids initial des plaques (grammes).	Poids après 1 heure d'immersion.	Poids après 1 heures	Poids après 12 heures	Poids après 48 heures	Perte do poids p. 100 apres 48 heures.
Aluminium doux.	1	4,580	4.580	4,578	4.561	4,540	1,74
— .	2	4,610	4.608	4.605	4,585	4,548	1.33
Aluminium dur .	1	4.512	4.500	4,410	4.410	4,370	3,12
— .	2	4,519	4,512	4,401	4.401	4,350	3,75

Recuit. — Le recuit d'une plaque d'aluminium a pour effet de diminuer sensiblement la rapidité et l'importance de l'attaque. Ainsi, le chauffage à 400°, pendant une heure, d'une plaque d'aluminium plongée dans de l'eau alcalinisée au 1/5 000, donne les différences suivantes :

	Poids initial (en grammes).	Poids après 2 heures d'immersion.	Poids après 12 heures.	Perte de poids p. 100 après 12 heures.
Tôle dure.	4,580	4,570	4,460	2,6
Même tôle recuite à 400°. . . .	4,578	4,578	4,558	0,43

La différence, comme on le voit, est notable entre les pertes des deux plaques, mais elle s'atténue à la longue. En outre, on observe une différence dans l'aspect des dépôts : dans le cas des plaques dures, le dépôt est irrégulier; on constate la formation de boursouflures et d'exfoliations; les plaques minces ne tardent pas à se perforer lorsqu'elles se trouvent en contact avec un liquide alcalinisé au 1/5 000. Dans le cas de l'aluminium recuit, l'aspect du dépôt est différent : il est régulièrement réparti sur la surface ; à moins d'une alcalinité plus élevée, on n'observe pas de perforation.

*
* *

Ralentissement de l'attaque et de l'altération. — Le recuit a donc pour effet de faire disparaître une partie des inconvénients du laminage; comme on le verra plus loin, cette propriété peut être utilisée. Ce résultat tendrait à démontrer que l'influence accélératrice du laminage dans l'attaque de l'aluminium doit être reportée en grande partie à une action mécanique plutôt qu'à la présence de traces de fer. J'ajouterai que le ralentissement de l'attaque des plaques d'aluminium recuit immergées peut être constaté non seulement pour les solutions salines étendues mais aussi pour les acides minéraux. Peut-être serait-il recommandable, à la suite de cette observation, de recuire les objets et appareils d'aluminium. Cette opération a comme inconvénient de communiquer une grande souplesse au métal et de diminuer, par suite, la solidité des appareils. Mais, dans le cas où l'épaisseur du métal dépasse 2 à 3 mm cet inconvénient est atténué. J'ai pu déjà, en maintes circonstances, utiliser ce procédé qui fournit des résultats appréciables au point de vue de l'augmentation de la durée de l'aluminium.

Il arrive parfois que, dans un liquide alcalin, l'aluminium, au début de l'attaque, se recouvre d'une couche colorée brun rougeâtre très résistante; c'est le cas de l'aluminium plongé dans une solution très étendue d'ammoniaque ou de soude. La comparaison des volumes d'hydrogène dégagé de

plaques ainsi oxydées et replongées dans un liquide alcalin, comparativement à des témoins non oxydés, a montré qu'il y avait un ralentissement dans l'attaque. La couche d'oxydation constitue donc un enduit protecteur mais momentané.

On peut préserver complètement l'aluminium des altérations de l'air par l'emploi de différents vernis protecteurs à base de celluloïd, d'acétate de cellulose, de gutta-percha, de matières grasses, etc. D'ailleurs, M. Guérin vous en parlera tout à l'heure. Ce qui convient le mieux pour préserver l'aluminium en magasin de l'attaque par l'air est un graissage léger à la vaseline, à l'huile ou à la paraffine.

Dans l'eau, même fortement chargée de sels minéraux, le graissage à la vaseline produit un ralentissement considérable de l'attaque et on peut, dans ces deux cas, en recommander l'emploi à coup sûr.

En résumé, on voit que « l'altération de l'aluminium », à défaut d'une autre expression mieux appropriée, ne doit pas être prise dans un sens trop péjoratif maintenant que nous connaissons sa nature et les moyens de l'éviter ou du moins de la ralentir considérablement.

J'ajouterai que quel que soit le bien-fondé des théories que l'on a émises à son sujet, elles ont donné des directives aux industriels qui ont perfectionné leurs fabrications au point de permettre l'utilisation de l'aluminium dans une foule de cas où son emploi était contre-indiqué, il y a encore une vingtaine d'années.

*
* *

L'importance peut-être exagérée que l'on attribue aux impuretés de l'aluminium s'est traduite dans les cahiers des charges par l'exigence d'une pureté presque absolue du métal. Commercialement, ce sont le fer et le silicium qui sont pris en considération pour établir le titre du métal.

Le tableau ci-après, qui indique l'analyse de deux échantillons du même aluminium remis en 1913 aux principaux laboratoires qualifiés pour ce but, montre non seulement des différences dans les résultats analytiques de laboratoire à laboratoire, mais aussi des différences entre les résultats des mêmes expérimentateurs, ce qui justifie d'une part la décision qui vient d'être prise par la Sous-Commission de Standardisation des Produits métallurgiques pour l'unification des méthodes d'analyses de l'aluminium, et montre, d'autre part, l'ordre de grandeur des erreurs de dosage commises dans la pratique.

DIFFÉRENCES OBTENUES DANS DIVERS LABORATOIRES DANS LE DOSAGE DES IMPURETÉS DE L'ALUMINIUM EN ANALYSANT DEUX ÉCHANTILLONS IDENTIQUES
(Teneurs pour 100.)

Sociétés ou Laboratoires.	Fer.	Silicium.	Cuivre.	Aluminium.
Échantillon n° 1.				
Arts et Métiers	0,350	0,250	0,100	99,20
Froges	0,400	0,230	non dosé	*99,27*
Alais	0,340	0,170	0,200	99,29
Chambéry	0,370	0,320	non dosé	*99,31*
Institut Pasteur	0,400	0,220	0,030	99,35
Arve	0,310	0,240	non dosé	*99,45*
Heddernheim	0,290	0,200	0,060	99,45
Frésénius	0,220	0,260	0,037	99,483
Électrochimie	0,272	0,210	non dosé	*99,518*
Échantillon n° 2.				
Chambéry	0,580	0,387	non dosé	*99,03*
Froges	0,370	0,300	non dosé	*99,33*
Alais	0,330	0,190	0,200	99,28
Arts et Métiers	0,300	0,250	0,050	99,30
Institut Pasteur	0,350	0,240	0,010	99,40
Arve	0,290	0,260	non dosé	*99,45*
Heddernheim	0,240	0,260	non dosé	*99,50*
Frésénius	0,210	0,270	0,011	99,509
Électrochimie	0,235	0,250	non dosé	*99,515*

II. — Emploi de l'aluminium dans les industries d'alimentation.

Les débuts de l'aluminium dans l'industrie de l'alimentation, en général, ne furent pas brillants. Certains néophytes, trop zélés, ont surfait ses propriétés mécaniques, ainsi que sa résistance à l'oxydation, à une époque où la fabrication de ce métal était manifestement défectueuse. Au lieu de lui demander ce qu'il pouvait donner à ce moment, on parla de remplacer l'acier ou le laiton par l'aluminium.

A cet enthousiasme exagéré succéda un dénigrement systématique ; à la vague d'optimisme succéda une vague de pessimisme, et l'aluminium, après avoir été, comme le dit spirituellement Moissan, le « métal de l'avenir », devint en quelque sorte le « métal de la déception ». Or, l'aluminium ne méritait ni cet excès d'honneur ni cette indignité.

La défaveur qui alors frappa l'aluminium, malgré son côté utilitaire qui s'affirmait chaque jour de plus en plus, subsista longtemps en France et il est intéressant, au point de vue de l'histoire de ce métal, de vous en donner une idée en citant quelques appréciations que j'ai recueillies.

A propos de son utilisation comme ustensiles de cuisine, un industriel écrivait ces lignes en 1898 : « Il faut renoncer à toute idée d'employer l'aluminium pour la confection des fourchettes et des cuillers par suite de l'effritement du métal. Quant aux casseroles, elles se corrodent rapidement sur le feu et deviennent inutilisables. »

Un brasseur m'écrivait un peu plus tard : « On ne pourra jamais réussir à faire adopter l'aluminium dans la brasserie par suite de l'irrégularité des fermentations dans les cuves en aluminium et par suite du mauvais goût communiqué à la bière. »

Voici l'appréciation d'un constructeur en 1906 : « Les appareils en aluminium en chaudronnerie ne conviennent pas à la distillerie parce que l'alcool prend un goût métallique à son contact; parce que sa soudure présente trop de difficulté et qu'on ne peut faire des raccords de robinetterie sans provoquer une corrosion rapide à la zone de juxtaposition. »

Certains journaux déconseillaient l'emploi de l'aluminium. Voici, à titre d'exemple, ce qu'écrivait une revue vinicole en 1910, sous la signature d'un ingénieur connu : « En ce qui concerne l'aluminium, nous estimons, contrairement aux admirateurs de ce métal, que l'on doit en éviter le contact avec les boissons et les matières alimentaires. »

Actuellement, il y a encore des détracteurs de l'aluminium. Pourquoi? C'est qu'ils ignorent sa destination normale.

Innocuité de l'aluminium. — A côté de la prétendue désagrégation rapide des ustensiles d'aluminium servant à l'alimentation, on a fait une autre objection : celle de la toxicité.

La toxicité de l'aluminium a été, et j'ose à peine le dire, est encore invoquée comme un obstacle à son emploi dans l'alimentation. Récemment, un auteur publiait dans une revue les inconvénients que pourrait présenter, au point de vue de la toxicité, l'emploi de ce métal dans les industries d'alimentation. Il me paraît utile, devant ces opinions, de faire le procès de la question. Mais je dois vous dire que j'ai l'impression d'enfoncer une porte ouverte....

L'aluminium se trouve extrêmement répandu dans la nature; on en trouve une quantité notable dans les cendres de quelques plantes inférieures. Müller en a signalé jusqu'à près de 4 p. 100 dans la cendre de certaines lycopodées et notamment dans la *Corydalis bulbosa*. Les champignons en contiennent et la proportion y est très élevée puisqu'on en a signalé jusqu'à 12 p. 100 du poids de la cendre de certains lichens. L'auteur Wohl indique que la cendre de *Sphagnum* peut contenir de 3 à 8 p. 100 d'alumine. Ogier en a rencontré une petite quantité dans les cendres de vins normaux ; enfin,

divers auteurs, notamment Deschamp, ont observé que la bière contenait aussi de l'alumine.

Tous ces résultats sont suffisants pour montrer que nous absorbons journellement de l'aluminium sous diverses formes. On peut ajouter que la cuisson de nos aliments dans des vases en argile a pour effet de désagréger très lentement, mais progressivement, les sels d'alumine : on peut déjà prévoir que l'aluminium ne doit pas être toxique. Certaines expériences tendent même à démontrer que la présence d'aluminium est nécessaire à la constitution de la cellule.

Le plus simple raisonnement indique donc que si l'aluminium était un métal toxique, comme un petit nombre d'auteurs l'ont prétendu, les statistiques d'hygiène, aujourd'hui si bien établies dans tous les pays, n'auraient pas manqué de relever les accidents qui se seraient produits à la suite de l'emploi de ce métal dans nos cuisines et dans les industries d'alimentation. Alors que la bibliographie des accidents dus à l'usage du cuivre est considérable, on ne relève pas d'accidents d'intoxication à la charge de l'aluminium. La quantité d'aluminium dissoute par les liquides en contact avec ce métal est beaucoup moins considérable que ce que nous absorbons journellement et normalement dans nos aliments.

En France, le Conseil d'Hygiène et de Salubrité ne s'est jamais préoccupé d'accidents dus à l'aluminium et la meilleure preuve que l'on puisse donner de son innocuité est le témoignage de la Commission permanente pour la Répression des Fraudes, instituée au Ministère de l'Agriculture, qui a autorisé la coloration des bonbons avec de la poudre d'aluminium. Une commission a demandé le remplacement de l'alliage qui constitue la tête des siphons d'eau de Seltz par de l'aluminium dont elle avait proclamé l'innocuité.

Après ce court résumé sur la prétendue toxicité de l'aluminium, il semble donc qu'il ne doit pas rester le moindre doute dans l'esprit au sujet de son innocuité.

*
* *

Je vais passer en revue maintenant les principales industries se rattachant à l'alimentation et dans lesquelles l'aluminium a trouvé ou est susceptible de trouver un emploi.

J'arrêterai mon choix principalement sur les applications suivantes : ustensiles culinaires, brasseries, laiteries.

1° **Ustensiles culinaires.** — L'utilisation de l'aluminium pour la confec-

tion des ustensiles de cuisine et de ménage est l'application la plus ancienne et la plus populaire. Elle s'est développée d'abord en Autriche et en Allemagne. En 1910, ces pays avaient déjà adopté, pour leurs armées, les ustensiles en aluminium; l'usage s'en était rapidement répandu dans les ménages, tandis qu'en France il était plus limité, se bornant principalement aux articles de voyage et de tourisme. Mais, depuis cette époque, on peut dire que cette fabrication s'est rapidement généralisée dans notre pays. Plusieurs maisons importantes se sont établies pour la fabrication de ce matériel qui s'obtient par les 3 procédés suivants : fusion, emboutissage et repoussage des ustensiles volumineux comme les casseroles et les marmites. Mais la plus grande partie de la batterie de cuisine provient de l'aluminium laminé

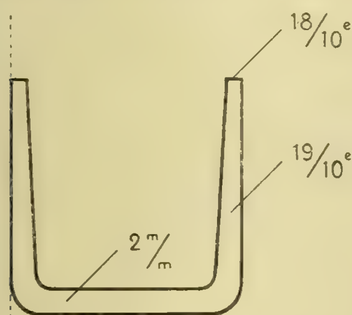


Fig. 7. — Coupe à profil exagéré d'une casserole emboutie.

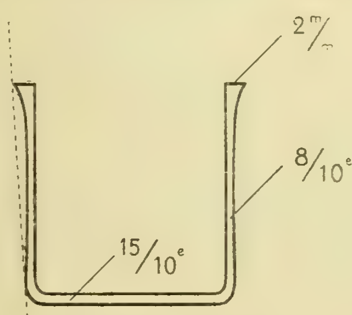


Fig. 8. — Coupe à profil exagéré d'une casserole repoussée.

qui, après avoir été découpé en disques, est embouti ou repoussé, selon le cas.

L'emboutissage mécanique (fig. 7) donne un objet régulier avec des épaisseurs uniformes ou uniformément décroissantes, permettant d'obtenir une surépaisseur dans les parties qui fatiguent le plus et qui sont celles qui sont directement en contact avec le feu.

Le repoussage (fig. 8), au contraire, qui est à la portée des plus petits artisans et qui exige seulement une installation coûtant quelques centaines de francs, est obtenu par le pétrissage et le refoulage de la partie débordante d'un disque d'aluminium fixé sur un mandrin cylindrique animé d'un mouvement de rotation. Le métal est généralement refoulé dans la partie qui est destinée à devenir la tranche visible, si bien que cette tranche peut avoir une épaisseur qui est beaucoup supérieure à l'épaisseur moyenne de la casserole. Selon l'habileté professionnelle de l'ouvrier, les objets fabriqués ont une résistance variable. Il faut remarquer que c'est au refoulage défectueux que l'on doit les inconvénients dont les ménagères se sont plaintes quelquefois et qui ont retardé l'emploi plus en grand de l'aluminium dans la batterie de cuisine.

On reconnaît qu'un ustensile a été repoussé en ce qu'une règle droite ne s'applique pas le long des génératrices.

Les croquis exagérés des figures 7 et 8 représentent la coupe d'une casserole obtenue par emboutissage mécanique et la coupe d'une casserole obtenue par repoussage. Ces deux croquis montrent que si l'on part d'une épaisseur initiale de laminage de 1 mm, par exemple, on ne pourra jamais obtenir plus de 1 mm par l'emboutissage et on obtiendra au contraire, sur la tranche visible, une épaisseur qui aura de 8/10 à 9/10 mm selon l'angle du cône que l'on aura donné au poinçon d'emboutissage, la partie extérieure étant rigoureusement cylindrique.

Au contraire, par repoussage, la partie intérieure est rigoureusement cylindrique ou légèrement tronconique. Avec un flan de 1 mm, on obtiendra très bien 1/2 mm d'épaisseur à quelques centimètres au-dessus du fond, tout en arrivant à donner une épaisseur de 1,5 mm à la tranche coupée qui est la partie visible de l'épaisseur de la pièce.

On estime qu'actuellement la consommation de l'aluminium en France pour la fabrication des ustensiles de cuisine est d'environ 1 000 t par an, dont les deux tiers, soit 650 t environ, pour les articles servant à faire réellement la cuisine, et le tiers, soit 350 t, pour les accessoires divers de batterie de cuisine.

Les premiers articles, soit les deux tiers, comprennent principalement : les casseroles, faitouts et marmites. Les articles divers, soit le tiers, comprennent : les plats à œufs, assiettes, timbales, boîtes à lait, sauve-lait, pots à eau, pots de toilette, bouilloires, cuvettes, articles de voyage et d'hygiène, articles à bec soudé comme les cafetières, théières, etc., enfin les couverts, cuillers à café, passoires, louches, spatules, etc.

Actuellement, il semble y avoir une orientation de l'utilisation de l'aluminium vers la boîte de conserves et spécialement vers la boîte que l'on peut ouvrir sans l'endommager et qui peut être employée ensuite dans le ménage dans un but quelconque. Ce dernier emploi semble notamment très en vogue aujourd'hui pour la livraison de la confiture dans de petites marmites servant ensuite aux ouvriers qui emportent leur déjeûner.

On peut encore citer, dans un ordre d'idées voisin, les boîtes de pâte dentifrice et de produits de confiserie. On emploie aussi l'aluminium pour la fermeture des bouteilles d'eaux minérales et ce débouché semble également susceptible de devenir assez important.

Enfin, vous connaissez l'emploi universel du papier d'aluminium pour envelopper certains aliments ou condiments.

L'emploi de l'aluminium pour la cuisine est justifié : par la haute conductibilité du métal, par sa chaleur spécifique et par son faible pouvoir

émissif. L'entretien et la conservation des instruments d'aluminium sont extrêmement faciles, à la condition d'observer certaines précautions pour éviter les taches et les points d'attaque et qui découlent des précédentes observations.

Enfin, la généralisation de l'aluminium pour son emploi dans les ménages est facilitée aujourd'hui par la forme élégante qu'on a su donner aux objets, et par les perfectionnements apportés à son polissage et à son nickelage, grâce, spécialement, aux travaux de M. Guillet et de M. Canac.

Quelques préjugés restent encore à vaincre tels que celui de la trop grande conductibilité du métal ou celui qui concerne la trop grande légèreté de l'aluminium à laquelle on n'est pas habitué et celle de sa trop grande conductibilité calorifique. Or, cet inconvénient est très atténué, comme nous pouvons le constater dans l'exposition des articles de cuisine, par l'isolement de la chaleur au moyen d'artifices ingénieux. Quant à l'objection d'une trop grande légèreté de métal, elle ne fait que choquer momentanément nos habitudes, et le jour viendra où ce prétendu inconvénient sera considéré comme une qualité. Que n'aurait-on pas objecté, s'il se fût agi de remplacer l'aluminium par un métal trois fois plus lourd? Car il s'agit, en l'espèce, d'un phénomène d'auto-suggestion, la légèreté du métal éveillant dans l'esprit la notion de fragilité.

2° **Emploi en brasserie.** — Je m'arrêterai quelques instants sur l'emploi de l'aluminium en brasserie, non seulement à cause de l'importance de ce débouché, mais aussi pour montrer les difficultés que l'on a dû vaincre pour arriver à la situation actuelle.

On sait combien la fabrication de la bière est délicate : il s'agit ici d'une industrie d'ordre biologique; les moindres changements dans la disposition et la nature des appareils peuvent amener de grandes perturbations dans la marche des fermentations et la qualité de la bière. Rien n'était plus légitime que cette appréhension dans l'esprit des brasseurs quand il s'agit d'innover.

Les objections que l'on a faites contre l'emploi de l'aluminium en brasserie concernent les trois points suivants :

1° Solubilité de l'aluminium dans la bière;

2° Influence sur l'activité de la levure;

3° Influence sur la limpidité.

Solubilité de l'aluminium dans la bière. — De nombreuses expériences ont été faites sur la solubilité de l'aluminium pur dans du moût en fermentation. Chapmann l'avait déjà déterminée en faisant fermenter, dans des récipients en

aluminium, 4 l de moûts de densités comprises entre 1,050 et 1,055, conditions semblables à celles qu'on rencontre en brasserie.

J'ai répété ces essais avec de la bière blonde française en me servant de récipients en aluminium présentant la composition suivante :

	Teneur p. 100.
Fer	0,33
Silice	0,28
Cuivre	traces
Aluminium	99,49

Voici, à titre d'exemple, pour quatre échantillons de bière, les poids d'aluminium disparus, exprimés en *milligrammes* pour 100 g du métal, à une température variant de 10° à 18°.

	I	II	III	IV
En 24 heures	0,4	0,5	0,78	0,45
En 3 jours	0,95	0,92	0,85	0,95
En 1 semaine	2,25	1,10	3,08	2,60

Ces pertes sont négligeables et de l'ordre de grandeur de celles du cuivre. A une température voisine de 0°, la dissolution de l'aluminium, dans les mêmes récipients, était à peu près nulle.

Influence sur la fermentation, sur l'activité des levures et sur la limpidité de la bière. — Si faibles que soient ces proportions d'aluminium dissous, on peut se demander quelle peut en être la répercussion sur la vitalité de la levure et sur la marche des fermentations; il est connu, en effet, que l'activité de la levure subit les moindres influences des milieux dans lesquels elle se développe.

Dans une série d'expériences, on a mis en suspension de la levure dans des moûts stériles, de densités variables et renfermant des doses diverses de sulfate d'aluminium. En opérant sur 3 l de moûts ensemencés dans des conditions identiques avec 15 g de levure pressée, on a trouvé, à la fin de la fermentation, les poids suivants de levure :

	Témoin sans sulfate d'aluminium.	Pour 18 mg de sulfate d'aluminium.	Pour 180 mg de sulfate d'aluminium.
Levure pressée	84 g	84 g	83 g
Densité des moûts	1,007	1,007	1,007

D'autres expériences, effectuées avec divers sels d'aluminium, donnèrent des résultats analogues. On a également fait fermenter comparativement, dans des conditions aussi identiques que possible, des moûts placés, d'une

part dans des vases en verre, et d'autre part dans des vases cylindriques en aluminium d'une pureté de 99,53 p. 100.

Il n'y a pas eu de différence ni dans la multiplication de la levure ni dans son atténuation, entre les essais et les témoins.

D'après l'opinion de Chapmann, l'influence défavorable de la fermentation que l'on a observée dans les cuves de cuivre ne se manifeste pas dans les cuves en aluminium parce que la levure a la propriété de fixer le cuivre. C'est évidemment là un résultat important dont pourraient tirer parti les nombreuses brasseries qui, dans leur fabrication pendant l'époque des chaleurs, ont des désagréments provenant de la levure séjournant dans des récipients en cuivre.

Limpidité. — Les résultats précédents ne justifient l'emploi de l'aluminium en brasserie qu'à la condition qu'il soit démontré que le métal n'exerce aucune action néfaste sur l'aspect général de la bière, c'est-à-dire sur sa limpidité et sa bonne tenue, qualités qui sont si recherchées par les consommateurs.

Des expériences comparatives, en nombre considérable, qui ont consisté à mettre en contact la bière fraîche avec des récipients divers, verre, cuivre, étain, etc., ont surabondamment montré que l'aluminium n'avait aucune action sur la limpidité de la bière, contrairement à ce qu'on a observé pour l'étain.

Enfin, j'ai institué une série d'expériences à la brasserie d'Ivry, en collaboration avec son directeur, M. Schmidt; elles ont démontré que les bières fermentées dans des cuves en aluminium ne perdaient pas leurs qualités de transparence et de limpidité.

*
* *

Avant 1900, l'usage de l'aluminium dans les brasseries et les industries d'alimentation était presque inconnu, malgré les rapports favorables parus déjà à cette époque. Les praticiens, par crainte d'accidents d'altération causés par l'aluminium impur, n'avaient pas encore osé l'employer dans leur fabrication. Cette hésitation ne fut vaincue qu'à la suite de la publication des travaux d'Aubry, de Chapmann, de Schönfeld, de Kleiset et de bien d'autres. C'est alors que le mouvement se dessina : il se traduisit tout d'abord en Allemagne par l'emploi de l'aluminium dans la confection des cuves, dont la capacité totale atteignait en 1910 le chiffre de 28 000 hl.

Il y a actuellement trois types de cuves de fermentation en usage : les cuves simples en aluminium, les cuves en aluminium entourées d'une chemise de fer, les cuves de béton ou de briques recouvertes d'aluminium.

Sur les 28 000 hl cités plus haut, le second type comptait 1 750 hl tandis que les cuves construites d'après le troisième type (cuves de béton ou de



Fig. 9. — Emploi de l'aluminium en brasserie : Seaux à levure.

briques recouvertes d'aluminium) représentaient à cette époque une capacité totale de plus de 20 000 hl.

On a préconisé en ces dernières années, l'emploi de cuves en verre ou

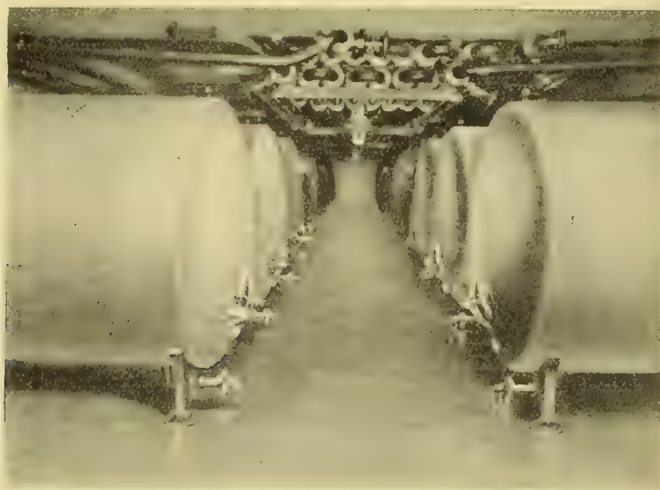


Fig. 10. — Cave de garde de brasserie avec foudres en aluminium.

revêtues d'émail ou de certains vernis. Les premières ont l'inconvénient d'être fragiles et de se fendre sous l'influence du moindre choc. Dans le second cas, le désémaillage, qui se produit toujours, forme des cavités

difficiles à nettoyer et dans lesquelles se logent les microorganismes étrangers.

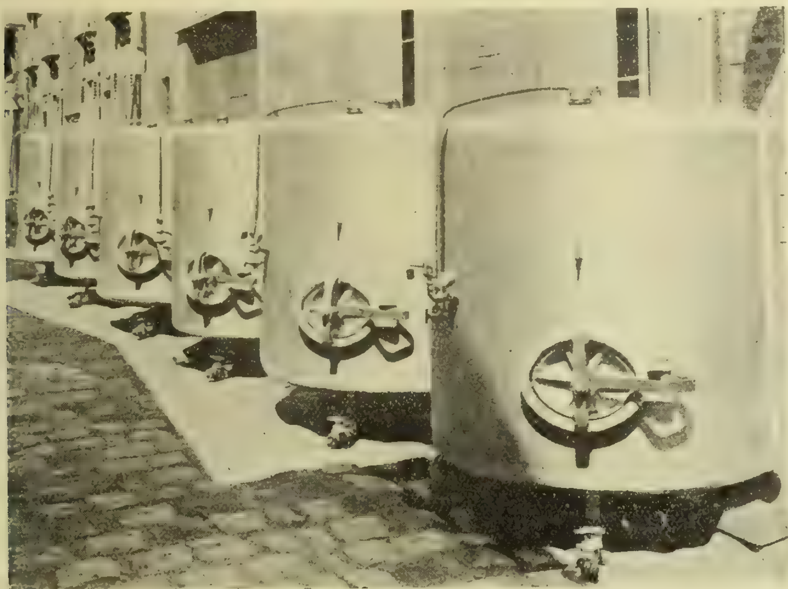


Fig. 11. — Tanks de brasserie en aluminium (Etablissements Odam).

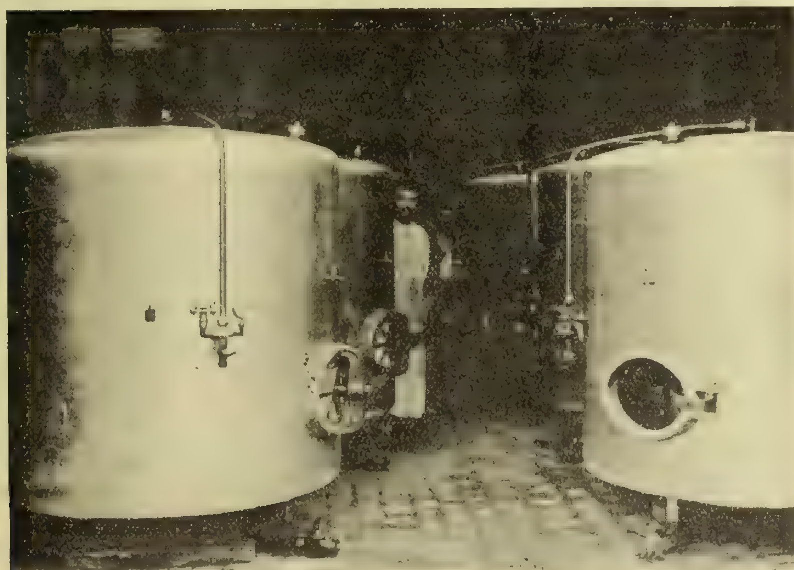


Fig. 12. — Cave avec tanks de brasserie en aluminium (Etablissements Odam).

Outre la confection des cuves de fermentation, l'aluminium peut encore être utilisé en brasserie pour les conduites d'eau de canalisation et d'alimen-

tation, ainsi que pour la construction des bacs et des réservoirs d'eau, pour celle des réfrigérants contenant des liquides incongelables, pour celle des appareils de réfrigération des salles de fermentation et conservation de la bière et enfin pour celle du petit matériel tels que brocs, baquets, éprouvettes, etc. Dans le cas où les appareils devront exiger une grande résistance, on pourra s'adresser au duralumin qui est un alliage d'aluminium, de cuivre, de magnésium et de manganèse, et qui est fabriqué par la Société du Duralumin.

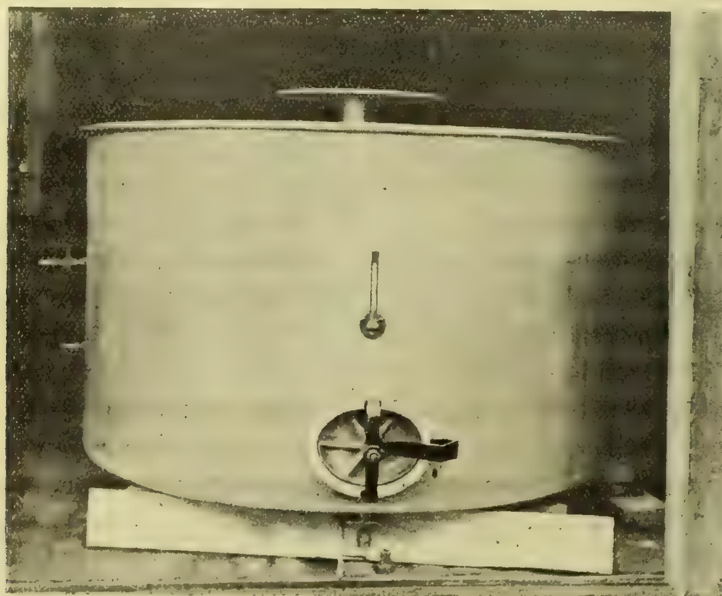


Fig. 13. — Cuve de fermentation (Établissements Odam).

Précautions. — L'emploi de l'aluminium en brasserie, comme d'ailleurs dans les autres industries d'alimentation, demande quelques précautions.

Quand on le pourra, les ustensiles en aluminium seront recuits à une température d'environ 400°. Cette opération du recuit, comme on l'a expliqué plus haut, a pour effet de rendre les surfaces plus résistantes à l'attaque et de régulariser la formation des dépôts. Cette opération ne devra s'appliquer que pour des appareils ou des ustensiles ayant au moins environ 2 mm d'épaisseur, afin de ne pas trop diminuer leur solidité.

Dans les essais que j'ai institués à Ivry, et dont j'ai parlé plus haut, j'ai fait ressortir l'avantage du polissage de la surface des tôles d'aluminium servant à la confection des cuves de fermentation. Dans le cas de feuilles d'aluminium mal laminées et non polies, on distingue au microscope de petites aspérités et des cavités dans lesquelles peuvent se loger les microorganismes. Il en résulte des perturbations notables dans la bonne

marche de la fermentation par suite de l'ensemencement des moûts par ces germes étrangers. On ne devra donc se servir, pour la confection du matériel de brasserie, que de tôles d'aluminium bien laminées et polies; ces conditions ne présentent, du reste, aucune difficulté de fabrication.

Relativement à l'entretien, une bonne précaution à prendre, outre celle d'éviter le contact des liquides alcalins, consiste à ne pas laisser séjourner l'eau dans les récipients. C'est surtout au cours de l'évaporation lente de l'eau que se forment les taches adhérentes au métal. On doit avoir soin de

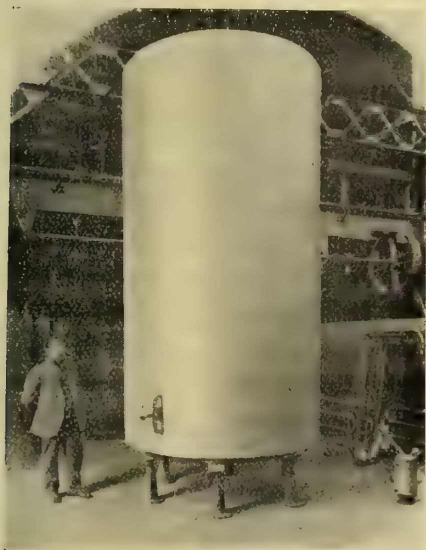


Fig. 14. — Tank de brasserie en aluminium de 150 hl. Hauteur : 9 m. Diamètre : 2,25 m. Poids : 930 kg. Tôle de 1 mm. Pression d'épreuve : 1,6 kg : cm² (Établissement Girel).

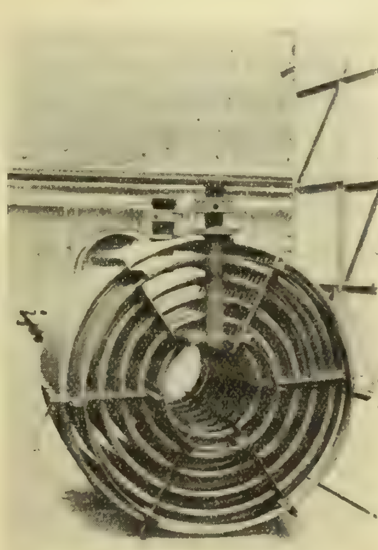


Fig. 15. — Emploi de l'aluminium en brasserie : Serpentin en aluminium à 6 enroulements de 8 spires. Longueur totale 360 m. (Établissement Girel.)

tenir les surfaces à l'état sec dans les périodes pendant lesquelles le matériel n'est pas utilisé. On se rappellera que le moindre graissage superficiel garantit longtemps l'aluminium contre toute altération.

Enfin, dans le prix d'achat des appareils, il faut tenir compte que, dans les cas d'usure de l'aluminium, ce métal conserve encore sa valeur et peut être revendu.

*
* *

En résumé, la question de l'utilisation de l'aluminium dans la brasserie est résolue. Mais, que d'efforts pour assurer cette victoire! Je ne vous apprendrai rien de nouveau en vous disant que cette application se développe chaque jour : on prévoit un débouché considérable dans la reconstitution

des brasseries de nos régions dévastées dont le nombre s'élèverait à environ 1.800, d'après les évaluations de M. Lindet. D'après le projet de reconstitution, elles seraient remplacées, par suite de leur groupement régional, par environ 350 installations nouvelles.

3° **Emploi en laiterie, beurrerie, fromagerie. Distillerie, etc.** — Une autre industrie de l'alimentation, dans laquelle l'aluminium pourra être largement utilisé, est celle du lait et de ses dérivés.

Les industries du lait et de ses dérivés peuvent être divisées en deux grandes classes : celle qui a trait à la traite, au ramassage, au transport et à la stérilisation du lait, et celle qui comporte le traitement du lait, c'est-à-dire les fabrications du beurre, du fromage et de la caséine.

Le matériel du premier cas considéré consiste en récipients pour la traite, en bidons, boîtes à lait, bacs pour les mélanges, boîtes de conserves pour le lait stérilisé; les appareils pour le traitement du lait consistent principalement en récipients pour l'écrémage superficiel, refroidisseurs, serpentins et cuves pour la fromagerie et pour l'emprésurage, moules pour le caillé, etc.

On peut dire que, jusqu'à maintenant, l'industrie du lait et de ses dérivés est restée en quelque sorte porte close pour l'aluminium. Ce n'est pas faute d'efforts du côté des fabricants, mais on s'est heurté ici à des résistances inattendues, parfois inexplicables.

Les principales objections que l'on a faites à l'aluminium sont les suivantes : c'est un métal trop fragile pour le transport; il est attaqué par l'acide lactique et il communique un goût au lait; son prix est trop élevé.

Je vais répondre à ces objections.

1° Le transport du lait s'effectue, comme nous le savons, dans des bidons en fer : ils représentent un tonnage considérable. Pour vous en donner une idée, je vous citerai que le seul bassin laitier de Paris exige 500 000 bidons, ce qui représenterait, d'après mon calcul, 2 000 t d'aluminium renouvelables, bien entendu, après un certain nombre d'années.

Chaque métier a ses habitudes : il en existe une fâcheuse dans l'honorable corporation des garçons laitiers chargés de ce transport, celle de maltraiter les bidons de lait qui sont déchargés sans la moindre précaution, comme vous avez pu vous en rendre compte par le bruit assourdissant et peu agréable que l'on entend chaque matin dans certains quartiers de Paris.

On a prétendu que les bidons d'aluminium ne résisteraient pas à un pareil choc et qu'il serait impossible de changer les habitudes des garçons laitiers. En effet, des bidons de 20 l, mis en expérience il y a quelques années, sont revenus en piteux état. Mais, depuis cette époque, on a trouvé une forme de bidon plus solide, sans soudure, sans rivets, avec angles

arrondis, ce qui présente un grand avantage au point de vue de la solidité et de la bonne conservation du lait. A défaut de l'aluminium, il est possible que le duralumin, dont j'ai parlé plus haut, puisse, à cause de sa solidité et de sa résistance, trouver un emploi dans ce domaine du transport du lait. Quant à la réforme de la mentalité des garçons laitiers, elle est tout de même dans le domaine des choses réalisables....

2° On a prétendu aussi que l'aluminium était attaqué par l'acide lactique et que le lait prenait mauvais goût à son contact. Or, les expériences que j'ai faites moi-même sur des laits légèrement acidifiés et sur l'action de l'acide lactique plus ou moins étendu, à chaud ou à froid, sur l'aluminium, démontrent le contraire. Tout au plus peut-on constater une légère attaque à chaud après plusieurs jours de contact; cette attaque est à peine de l'ordre de grandeur de celle qu'on observe sur le cuivre. Quant au goût métallique communiqué au lait ayant séjourné dans l'aluminium et à l'amoindrissement des propriétés digestives du lait, ce reproche, comme pour le cas de la bière, n'a pas de raison d'être d'après l'avis d'experts et de dégustateurs expérimentés.

3° Reste la question du prix élevé de l'aluminium. D'après le calcul de M. Drouilly, directeur de la section de l'aluminium aux Tréfileries du Havre, la question économique du transport des bidons serait résolue par la différence de poids existant entre les deux espèces de bidons et par la valeur de l'aluminium usagé, une ingénieuse innovation permettant l'échange de bidons usagés contre des bidons neufs.

Actuellement, des bidons pour le transport du lait sont en usage; il en est de même de toute une série d'appareils pour l'écrémage, l'emprésurage et la fabrication du fromage. Ce sont, en quelque sorte, des essais de démonstration nécessaires pour vaincre les dernières résistances et faire triompher la cause de l'aluminium. De même que, pour la brasserie, il faut, dans ce domaine, l'alliance de la science et de l'observation, c'est-à-dire du savant et de l'industriel. C'est à cette occasion qu'il faut citer ici les noms de M. le Professeur Porcher, de M. Drouilly et de M. le Dr Hauser qui ont uni leurs efforts dans un but commun.

Comme pour la brasserie, certaines précautions vis-à-vis de l'aluminium sont à prendre dans les industries des dérivés du lait. Les bidons vides, rincés à l'eau, doivent être égouttés pour éviter la concentration de l'eau de rinçage et les appareils doivent être essuyés en cas d'arrêt des opérations. Le lavage au carbonate de soude doit être évité. L'emploi de l'aluminium est à rejeter pour la fabrication et la conservation des fromages à pâte ammoniacale. Les moules dans lesquels on sale les caillés avec du sel marin doivent être journellement rincés pour éviter le piquage par le chlorure de sodium.

Il y aurait encore à parler des industries de distillerie, de sucrerie, de vini-

fication et d'autres industries secondaires, mais je suis limité par le temps. Qu'il me suffise de dire que, pour ce qui concerne la distillerie, il existe déjà en usage de nombreux appareils distillatoires et des serpentins dont l'emploi journalier ne communique aucun mauvais goût à l'alcool, aux essences et aux produits distillés. Le transport de l'alcool et des moûts sucrés en fûts d'aluminium commence à se répandre.

Pour le transport des vins rouges fortement colorés, il y a cependant une contre-indication par suite de la précipitation du tanin par l'aluminium, ce qui a pour effet de le décolorer plus ou moins. Encore cette transformation ne s'opère-t-elle qu'à une température relativement élevée. Même observation pour la conservation du rhum dans l'aluminium et, en général, comme l'a fait observer M. Kohn-Abrest, pour beaucoup de liquides qui renferment du tanin à l'état de dissolution.

* * *

Il me reste, en terminant, à donner quelques conseils à ceux qui cherchent à vulgariser l'aluminium dans les industries d'alimentation.

Il faut d'abord répéter au laboratoire, avec un petit matériel d'aluminium, l'opération correspondante en grand : en suivre les phases, analyser le liquide en contact avec l'aluminium pour évaluer le poids de métal dissous; faire des essais de dégustation, examiner le genre d'altération et, s'il s'en produit, comment on peut s'en protéger par un revêtement approprié ou simplement par un graissage. On passe ensuite aux essais en grand, car de nouvelles indications peuvent s'en dégager : il faut alors suivre le sort des appareils, en ayant soin de ne pas abandonner cet examen à un personnel qui, trop souvent, s'en désintéresse.

Après ces essais, peut-être croirez-vous maintenant que le succès est assuré? Non, car les efforts vont se heurter à une force occulte contre laquelle il faudra lutter souvent de longues années. Cette force occulte, vous l'avez deviné, c'est la routine avec laquelle il faut compter! Et c'est pour cette raison que cette Exposition, qui illustre mieux que tous les discours, les nombreuses applications de l'aluminium dans tous les domaines de la construction, de la mécanique, de l'alimentation, de l'hygiène alimentaire et je dirai même de l'art, est destinée à porter à cette routine un coup mortel.

Mais il a fallu un nombre considérable d'années pour qu'une place d'honneur fût donnée à l'aluminium et pour qu'on pût enfin célébrer son apothéose dans une manifestation comme celle d'aujourd'hui, manifestation couronnant les efforts des industriels de la première heure, qui ne se sont jamais découragés et auxquels nous devons rendre justice!

L'EMPLOI DE L'ALUMINIUM DANS LES INDUSTRIES CHIMIQUES ET LES PROCÉDÉS DE FABRICATION DU MATÉRIEL EN ALUMINIUM (SOUDURES, RECOUVREMENTS, ÉMAILLAGE, MÉTALLISATION) (1)

M. le Président, Mesdames, Messieurs.

Comme vous avez pu le voir en parcourant cette exposition, les industriels et les constructeurs disposent actuellement, pour l'aluminium, des mêmes éléments que pour les autres métaux : métal laminé en tôles de toutes épaisseurs; profilés de toutes formes et de toutes dimensions; tubes depuis les plus petits diamètres, 1/10 mm jusqu'à 150 mm; fils et câbles de toutes grosseurs. Ces éléments peuvent naturellement être obtenus avec les principaux alliages industriels ultra-légers, légers ou lourds dont M. Guillet vous a parlé dans sa conférence. Et ici, je me permets d'ouvrir une parenthèse : les consommateurs d'aluminium ou d'alliages spéciaux, et tout spécialement, les services de l'Aéronautique, ont pu craindre que ces métaux ne puissent leur être fournis en quantités suffisantes pour les besoins de leurs fabrications. Qu'ils se rassurent complètement : les producteurs d'aluminium, les usines de transformation et les ateliers d'élaboration de duralumin sont outillés pour faire face à toutes les demandes; l'industrie française, il faut le proclamer hautement, est en mesure de lutter contre les industries étrangères.

Sans envisager les qualités spéciales que l'on recherche par l'emploi de ces alliages et en nous occupant spécialement de celui du métal pur, plus couramment utilisé pour la construction du matériel dans les industries dont je vais vous parler, je tiens à vous rappeler qu'avec l'aluminium (comme du reste avec les autres métaux) on peut obtenir, suivant le travail mécanique auquel il a été soumis, des qualités différentes, suivant que ce métal est employé à l'état fondu ou recuit, ou suivant qu'il a été soumis à des opérations de laminage, de tréfilage ou d'étirage.

Pour les tôles d'aluminium, par exemple, lorsqu'après laminage le métal a été recuit en le portant à 350° pendant au moins une demi-heure, nous

(1) Conférence faite par l'auteur, en séance publique, le 25 mai 1921.

l'obtenons avec son maximum de malléabilité : il nous offre alors 9 kg de charge de rupture R, 5 kg de limite élastique E et 35 p. 100 d'allongement A.

Cette malléabilité peut être contrôlée par un essai introduit dans les cahiers des charges concernant la réception des tôles et bandes d'aluminium qui consiste en un emboutissage d'une rondelle de métal, exécuté au moyen d'un appareil construit au Laboratoire de l'Aéronautique, et indiquant la charge nécessaire pour fissurer cette rondelle de métal avec mesure de la flèche de la calotte au moment de cette rupture.

C'est également sous cette forme que, le recuit ayant détruit les tensions internes provenant de l'écrouissage et le métal ayant repris une structure cristalline, est le moins sensible aux corrosions sous l'action des liquides et des réactifs.

La sous-commission chargée de l'aluminium par la Commission permanente de Standardisation a établi la standardisation des épaisseurs des tôles d'aluminum, et elle l'a fait en se basant sur un principe intéressant, établi par le Colonel Charles Renard pour la standardisation de certains éléments employés dans les constructions aéronautiques en prenant comme base une progression géométrique (1); on a obtenu un tableau d'unification comportant treize épaisseurs différentes, depuis 0,3 mm jusqu'à 5 mm, qui présentent le grand avantage de ne pas chevaucher les unes sur les autres dans leurs emplois et qui présentent également les avantages du système décimal, c'est-à-dire que la tôle standardisée n° 11 a une épaisseur dix fois plus grande que la tôle standardisée n° 1. Ces tôles sont généralement livrées au commerce aux dimensions de 1×2 m, et sur demandes spéciales, ces dimensions peuvent aller jusqu'à 3 m $\times$ 7,50 m.

Au-dessous de 0,3 mm d'épaisseur, le métal, qui est surtout employé pour la fabrication des petits objets de bimbeloterie : étuis, boîtes pour la parfumerie, articles de Paris, est livré sous forme de bandes enroulées dont la largeur peut varier de 10 à 400 mm et la longueur jusqu'à 250 m.

Si nous avons besoin d'un métal plus dur, nous pouvons l'employer avec un certain taux d'écrouissage qui a été défini par la Commission permanente de Standardisation par la formule $\frac{S - s}{s} \times 100$ dans laquelle S représente la section de la tôle avant la dernière passe de laminage à froid, et s la section de cette tôle après cette passe. En pratique, nous préparons couramment quatre variétés de métal dur : en réduisant au moyen de la dernière passe de laminage la section de la tôle dans le rapport de 2 à 1, nous obtenons le métal à son maximum d'écrouissage : c'est le métal dur donnant $R = 18$ kg : mm^2,

(1) Voir le *Bulletin* de mars 1921, p. 309.

$E = 15$ kg : mm² et $A = 5$ p. 100; en réduisant la section dans le rapport de 1,75 à 1, nous avons le métal 3/4 dur avec $R = 16$ kg : mm²; en laminant dans le rapport de 1,5 à 1, nous avons le métal 1/2 dur avec $R = 14$ kg : mm², et en laminant dans le rapport de 1,25 à 1, nous avons le métal 1/4 dur avec $R = 12$ kg : mm².

En ce qui concerne les profilés, vous pouvez voir que les industriels ont à leur disposition des cornières, des profils en T, en U ou en double T de toutes dimensions.

Les tubes ronds sont fabriqués couramment, comme je vous l'ai dit, jusqu'à 150 mm de diamètre. Les diamètres et les épaisseurs ont été standar-

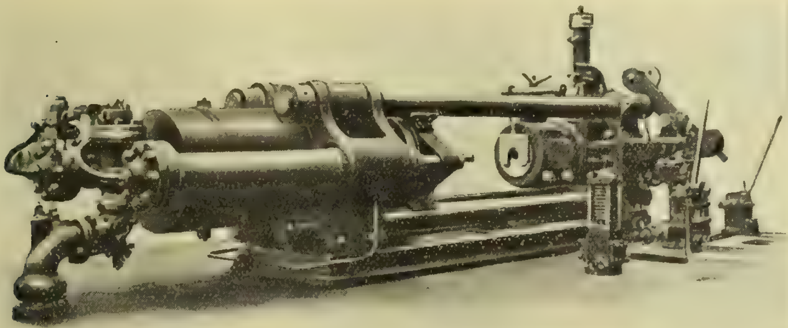


Fig. 1. — Presse de 600 tonnes à filer les métaux (S. O. M. U. A.) (Aluminium et alliages).

disés, et afin de tenir compte des besoins de l'aéronautique et de la construction de matériel des chemins de fer et des tramways, on a établi trois séries différant par leurs épaisseurs : la série mince, dont les épaisseurs varient de 0,5 à 2,5 mm; la série normale dont les épaisseurs varient de 0,5 à 5,0 mm et la série épaisse dont les épaisseurs varient de 1,6 à 5,0 mm.

Ces tubes et profilés sont obtenus généralement par filage à froid du métal au moyen de puissantes presses hydrauliques pouvant donner des efforts atteignant 1.000 t; elles comprennent un solide cadre en acier moulé, à l'intérieur duquel sont disposés les deux organes essentiels : le pot de presse où se développe la pression et le conteneur par lequel s'effectue l'écoulement du métal, suivant le profil désiré (fig. 1).

Afin de facililiter l'emploi et la généralisation de ces tubes dans l'appareillage industriel, il nous a paru utile, à l'exemple de ce que l'on possède pour les autres métaux, acier, fer, fonte, cuivre, etc., de déterminer un coefficient de résistance permettant de calculer facilement l'épaisseur d'un tuyau en raison de son diamètre et de la pression qu'il est appelé à supporter. Nous avons déterminé expérimentalement ce coefficient en soumettant des

tubes à des pressions intérieures jusqu'à éclatement. Dans toutes les expériences, l'éclatement a eu lieu sous une pression de 6 à 8 kg : mm². En tenant compte de ce qui est admis pour les autres métaux, c'est-à-dire en adoptant le tiers de la charge unitaire de rupture, on peut prendre 3 et même 2 kg : mm², chiffre d'autant plus suffisant que les tubes utilisés pour des pressions sont généralement employés à l'état écroui, état dans lequel la limite élastique du métal est proche de sa charge de rupture.

Le jonctionnement de ces tubes peut se faire, comme vous le voyez, de diverses manières : par bouts soudés ou par l'emploi d'un manchon fileté, à l'exemple de ce qui est fait pour les tubes de fer ou d'acier. Toutefois, en raison des difficultés que présente le décolletage de l'aluminium, ce procédé n'est à recommander que pour des tuyauteries qui ne doivent pas être fréquemment démontées; il est préférable d'employer le raccord à brides, le raccord conique à trois pièces, rodé sur joint, ou le raccord plat à joint.

En ce qui concerne le jonctionnement des câbles en aluminium, spécialement employés en électricité, comme vous l'a indiqué M. Dusaugey, vous avez pu voir que le jonctionnement de ces câbles se fait très rapidement au moyen de manchons torsadés qui assurent une liaison mécanique parfaite et un joint électrique qui donne toute satisfaction.

*
* *

La fabrication des objets en aluminium de petites dimensions et de formes simples peut être obtenue, comme avec le cuivre, par martelage du métal : sa malléabilité permet un travail facile, mais il demande un soin particulier de la part de l'ouvrier. Le martelage amène en effet rapidement un écrouissage du métal, et comme on atteint facilement la limite à laquelle se produisent les arrachements, il faut faire des cuissons successives de la pièce : les chaudronniers habiles arrivent toutefois à faire des pièces de forme très compliquée.

Si ce mode de fabrication est intéressant pour la construction de certains accessoires employés dans les industries chimiques ou de fermentation, il ne permet pas la fabrication en série des nombreux objets en aluminium que l'industrie réclame actuellement. Il faut avoir recours à des procédés mécaniques : le repoussage; ce procédé est employé pour la fabrication d'objets culinaires : casseroles, gobelets, timbales, etc. Ici encore l'habileté de l'ouvrier est un facteur important de la bonne exécution des pièces, surtout pour les obtenir avec des épaisseurs égales.

Seuls les procédés d'emboutissage permettent une fabrication rapide et

parfaite; cette opération a pour but d'amener, à froid, par compression entre deux masses d'acier présentant en creux et en relief la forme à obtenir, une plaque de tôle ou celle d'une ébauche dont les cotes sont voisines de celles de l'objet fini : le métal est refoulé entre la pièce mâle, le poinçon, et la matrice qui présente les reliefs en creux.

L'industrie livre actuellement des presses à emboutir de toutes puissances et de toutes dimensions qui permettent de réaliser les pièces les plus compliquées : en voici trois types (fig. 2 à 4) construites par les Établissements Bliss, dont la réputation, comme vous le savez, est mondiale : presse à col de cygne pour gobelets ou petites casseroles; presse avec montants

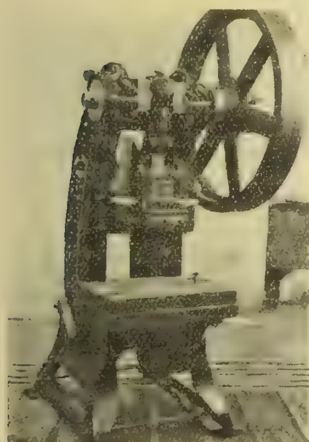


Fig. 2. — Presse à emboutir l'aluminium. Presse à col de cygne.

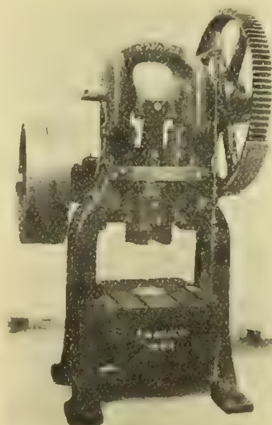


Fig. 3. — Presse à emboutir l'aluminium. Presse pour objets de grand diamètre.

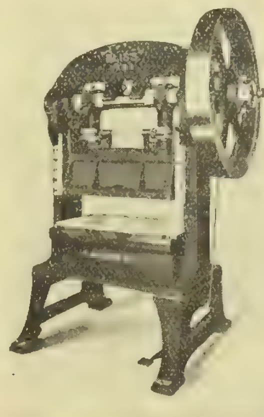


Fig. 4. — Presse à emboutir l'aluminium. Presse pour objets rectangulaires ou ovales.

écartés pour estampage et emboutissage d'objets de grands diamètres; presse à deux bielles pour estampage et emboutissage d'objets de forme rectangulaire ou ovale de grandes dimensions.

Ces presses demandent naturellement un outillage spécial et c'est cet outillage accessoire qui, en réalité, constituera l'organe principal. Les éléments de cet outillage sont très importants et permettent le découpage des flans de toutes formes et de toutes dimensions qui seront ensuite emboutis. Les accessoires sont le presse-flan, le poinçon et la matrice. Dans certains cas, il faut employer deux poinçons correspondant à deux passes, et, pour la plupart des objets à parois coniques ou fusionnées, on peut emboutir deux et même quatre flans simultanément (fig. 5).

L'emboutissage cylindrique se fait au moyen des outils qui s'emploient, de préférence, pour la fabrication des objets de grande profondeur, mais,

dans ce cas, ce n'est que par une série de passes successives que l'on arrive à la pièce définitive.

Vous pouvez voir dans cette exposition de nombreux spécimens d'objets obtenus par emboutissage; j'attire votre attention sur les grandes marmites de 50 à 100 l de capacité fabriquées à la Manufacture Métallurgique de Tournus et destinées à l'arsenal culinaire des paquebots des Messageries maritimes, ainsi que sur le matériel de laiterie présenté par M. Drouilly, dont vous a entretenu M. Trillat.

*
* *

En ce qui concerne l'assemblage des divers éléments en aluminium dans la construction ou pour la fabrication du gros matériel, nous pouvons avoir recours aux mêmes procédés que pour les autres métaux, rivetage ou soudage. Par rivetage, on obtient un jonctionnement parfait des tôles, très solide, surtout si on emploie des rivets à têtes rondes.

Ce procédé est à recommander pour l'assemblage des barres et des profilés, et il est le seul utilisable lorsqu'on emploie certains alliages et tout particulièrement le duralumin : les poutrelles et croisillons des fameux Zeppelins, — voici un fragment du L. 49 capturé à Bourbonne-les-Bains, — comportaient des milliers de rivets. C'est ce mode de jonctionnement qu'il faut prévoir dans la construction des avions métalliques, comme vous le dira le Lieutenant-Colonel Grard.

En ce qui concerne le jonctionnement par soudure, les premiers essais sont dus à Héraüs de Hanau; ils consistaient à chauffer les deux surfaces du métal jusqu'à une température inférieure à la fusion, soit vers 400°, et après les avoir rapprochées, à les marteler ou à les laminer. Il fallait que cette opération fût faite sans refroidissement et c'est pourquoi il était nécessaire de chauffer le cylindre sur lequel le martelage avait lieu.

Ce procédé de soudure de l'aluminium par recouvrement avait fait l'objet d'un brevet allemand; de nombreux constructeurs l'ont essayé. Il n'a jamais été généralisé en France. Il semble du reste bien difficile d'admettre que cette soudure soit parfaite, car il doit toujours exister au moment du martelage une couche d'alumine qui recouvre les surfaces. Le grattage du métal avant la superposition des bords à souder semble une précaution inutile, puisque, pendant le réchauffage de la ligne de soudure, qui doit atteindre une température assez voisine du point de fusion, une couche continue d'alumine se reforme sur cette surface. Cette alumine restera toujours emprisonnée dans les joints; elle apparait en effet dans les micrographies.

La principale difficulté de la soudure de l'aluminium est la formation superficielle de cette pellicule d'alumine, pellicule infusible, puisque l'alumine ne peut être fondue que dans l'arc électrique; en outre, le point de fusion peu élevé du métal et son grand coefficient de dilatation sont des facteurs dont il faut tenir compte.

Vous entendez journellement parler de soudure de l'aluminium sous la forme de produits commerciaux qui permettraient de réaliser facilement cette opération. Des centaines de brevets ont été pris et sont pris encore journellement en France et à l'étranger, concernant cette opération.

Afin de mettre cette question au point, je répéterai ce que j'ai dit dans la *Revue de la Chambre Syndicale de la Soudure Autogène*, en novembre dernier: « Des centaines de brevets ont été pris concernant des compositions destinées à souder l'aluminium et nous ne croyons en aucune véritable nouveauté en cette matière. Ces alliages offrent quelque intérêt pour boucher les soufflures ou pour réparer les cassures qui n'affectent pas la solidité de la pièce : leur emploi est analogue à celui des mastics que l'on vend pour boucher les soufflures ou faire disparaître les criques superficielles des pièces de fonte : ce sont généralement des collages constitués par adhérence sur l'aluminium de ces alliages à base d'étain qui constituent le produit. »

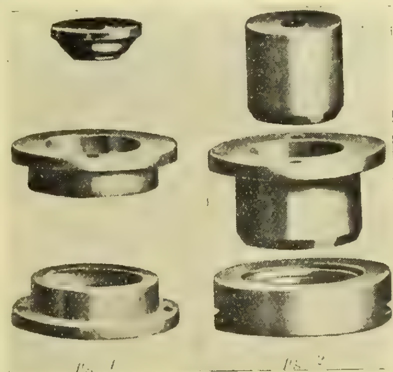


Fig. 5. — Accessoires d'emboutissage.

Aux États-Unis, où le nombre de formules de soudures d'aluminium est au moins, sinon plus considérable qu'en France, une étude très documentée en a été faite par le « Bureau of Standards ». Toutes les formules examinées étaient constituées par des métaux d'apport dont les deux principaux sont le zinc et l'étain. Il semble du reste inutile d'y introduire d'autres métaux, et les conclusions de l'étude américaine sont que les formules ayant donné les meilleurs résultats sont celles qui correspondent aux compositions suivantes : zinc : 15 à 50 p. 100, le reste étant de l'étain, ou zinc : 8 à 15 p. 100, aluminium : 5 à 12 p. 100, le reste étant de l'étain.

Une petite quantité d'aluminium dans la soudure contribue à augmenter sa résistance. Tous ces produits s'emploient de la même façon : sur la pièce parfaitement dégraissée et nettoyée à la lime ou à la râpe, on applique le métal fondu et on laisse refroidir aussi lentement que possible.

Il ne m'appartient pas de citer aucune des nombreuses marques commer-

ciales que j'ai examinées. Vous avez un certain nombre de ces produits dans les salles de cette Exposition, les inventeurs vous en indiqueront les qualités. J'ajouterai que ces qualités dépendent certainement de la pureté des métaux entrant dans la soudure et des soins apportés à la confection de l'alliage. Certains produits nous ont semblé d'une qualité supérieure à d'autres.

Soudure autogène. — Dans une conférence faite en 1906 dans les Laboratoires de l'Union de la Soudure Autogène, M. Amédéo s'exprimait comme suit : « Il n'est pas douteux que, d'ici quelques années, la soudure autogène permettra la construction courante de récipients et de réservoirs destinés aux usines de produits chimiques, aux brasseries et à toutes les industries qui ont besoin d'un métal inaltérable. » M. Amédéo a été bon prophète et, grâce aux efforts de l'Union de la Soudure Autogène, on peut affirmer que cette question de la soudure autogène de l'aluminium, dont la réalisation industrielle est due à M. Paul Odam, ne présente plus aucune difficulté pour ceux qui veulent bien suivre les préceptes techniques que l'expérience a montrés comme indispensables.

Au point de vue chimique, l'aluminium est caractérisé par la grande énergie que dégage sa combinaison avec l'oxygène. Abandonné à l'air à la température courante, le métal se recouvre toujours d'une fine couche d'oxyde d'aluminium, et, au point de fusion, il se forme une véritable pellicule qui s'oppose à une oxydation profonde de la masse métallique. L'alumine ne fondant qu'à très haute température et possédant une densité supérieure à celle du métal, il est indispensable de faire usage d'un flux capable de détruire cet oxyde qui empêche la liaison du métal en fusion. On a naturellement eu l'idée d'employer un corps dans lequel l'alumine est soluble; on en connaît un certain nombre : la cryolithe ou fluorure double de sodium et d'aluminium, le fluorure de potassium, les alcalis, les chlorures des métaux alcalins de potassium, de sodium et de lithium, etc.

Les fondants utilisés dans la soudure autogène de l'aluminium, en dehors de leur action dissolvante pour l'alumine, doivent être capables de détruire une partie de cet oxyde en le transformant en produits volatils; la fusion des mélanges des sels employés sous l'action du chalumeau s'accompagne toujours d'un dégagement de vapeurs d'acides chlorhydrique et fluorhydrique qui attaquent l'alumine et la transforment en composés volatils.

En l'espèce, le produit qui a donné les meilleurs résultats est constitué par un mélange de chlorures alcalins avec du fluorure de potassium et un bisulfate alcalin, bisulfate de potasse; ces chlorures alcalins dissolvent l'alumine, le chlorure de lithium règle la fluidité et la fusion du mélange en même temps qu'il forme avec l'alumine des chlorures volatils, et le bisulfate, par

son action sur les fluorures, contribue à la formation des composés volatils.

Avant de souder deux pièces d'aluminium, il est indispensable de nettoyer soigneusement les bords à réunir. Le métal d'apport doit être aussi pur que possible; généralement on l'emploie sous la forme de fils dont on imprègne l'extrémité avec le flux décapant; ce flux décapant se trouve couramment dans le commerce, préparé par les Établissements Odam.

Au moment où commence la fusion des bords du métal à souder, on laisse tomber le métal d'apport fondu de manière à former un seul bain de fusion avec le métal à réunir. Il est souvent nécessaire, pour les grosses épaisseurs, de prévoir un chanfrein de quelques millimètres d'épaisseur dans lequel le métal d'apport est fondu.

Il faut obtenir une pénétration complète de la soudure qui doit présenter un aspect régulier sous la forme d'une bande recouvrant les bords du métal sans épaisseur exagérée. Ceci ne s'obtient que par la pratique : le débutant, par un maniement irrégulier du chalumeau et un emploi maladroit des poudres décapantes, n'arrive qu'à obtenir des trous et une liaison défectueuse; la figure 6 montre ce que l'on peut obtenir avec un chalumeau trop puissant : en voulant aller trop vite on n'a pas obtenu une progression normale, sinon des trous, des affaissements et des collages; dans cette même photographie, l'opérateur ayant débuté avec un chalumeau trop puissant a changé d'instrument et la ligne de soudure est devenue à peu près normale. Ici, un bon opérateur a employé un fil d'apport tros gros et a formé un bourrelet superficiel et sans doute un manque de pénétration. Ici, la soudure est à peu près normale, un peu irrégulière, la reprise du travail vers le milieu est peu accentuée, et enfin, la dernière des photographies nous donne l'impression d'une soudure bien réalisée par un opérateur exercé; usinée ou simplement sablée, la ligne de soudure sera certainement invisible (fig. 6).

Après un refroidissement lent, les soudures doivent être lavées et brossées très énergiquement sous l'eau courante, afin d'éliminer les sels qui, par la suite, produiraient une corrosion du métal. La pièce, légèrement martelée à froid, recuite si l'on veut faire disparaître l'écrouissage, bien grattée et sablée, fournira dans ces conditions un jonctionnement parfait qui présentera exactement les mêmes conditions de résistance et de durée que le métal initial.

La soudure autogène s'applique également aux alliages d'aluminium utilisés pour la fabrication des pièces moulées; ici, le choix judicieux du métal d'apport peut seul permettre d'obtenir des soudures inaltérables. Ces travaux sont toujours délicats, car l'aluminium chauffé voit sa résistance diminuer considérablement, les phénomènes de dilatation et de retrait sont intenses et pro-

voquent parfois la rupture des pièces au cours du réchauffage ou pendant le refroidissement.

Vous voyez ici (fig. 7) ce que l'on peut faire, par exemple, pour la réparation d'un carter gravement endommagé : la cassure, malgré ses grandes dimensions, a été parfaitement réparée et la pièce a pu fournir, depuis sa réparation, un service pénible sans que l'on ait constaté la moindre défectuosité dans la soudure.

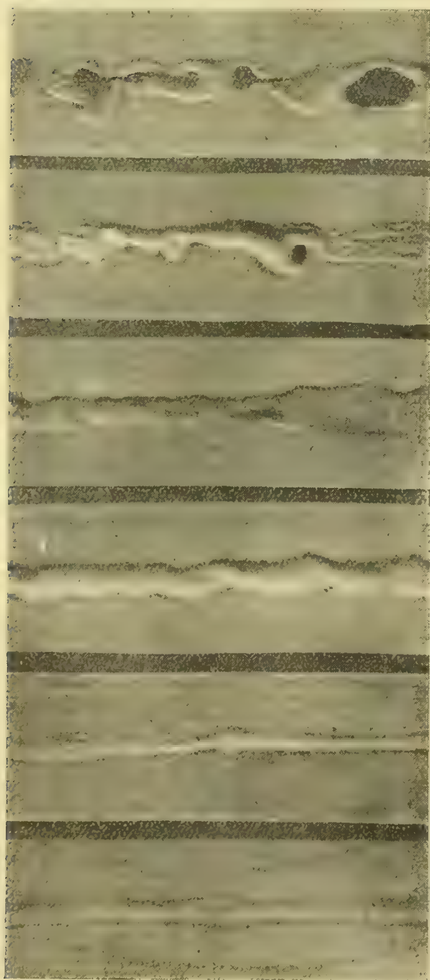


Fig. 6. — Types de soudures.

En vue du recouvrement avec l'aluminium des bacs en ciment ou en toute autre matière, l'Union de la Soudure Autogène a étudié, sur notre demande, la soudure montant de l'aluminium. Cette opération a pu être réalisée d'une façon satisfaisante (fig. 8).

Pour terminer, je répéterai que je crois utile d'attirer l'attention de tous ceux que l'avenir de l'aluminium intéresse sur l'importance des soudures pour la construction du matériel dans toutes ses applications, et tout particulièrement dans les industries de fermentation et dans les industries chimiques, car j'ai pu constater de très grandes différences dans la résistance des soudures à l'action des liquides avec lesquels elles se trouvaient en contact.

De même, il est désirable que les industriels puissent trouver facilement de bons soudeurs autogènes pour l'aluminium; à cet effet, la Chambre Syndicale de la Soudure Autogène a organisé des cours pratiques de soudure de l'aluminium. Le concours important que cet organisme à apporté à cette Exposition et les démonstrations qui sont faites journellement devant vous par les techniciens de cette association sont le meilleur garant de l'intérêt qu'elle porte à cette importante question.

La soudure électrique permet de réaliser extrêmement vite les soudures

des pièces en série avec des machines dont le seul inconvénient est, peut-être, le prix élevé.

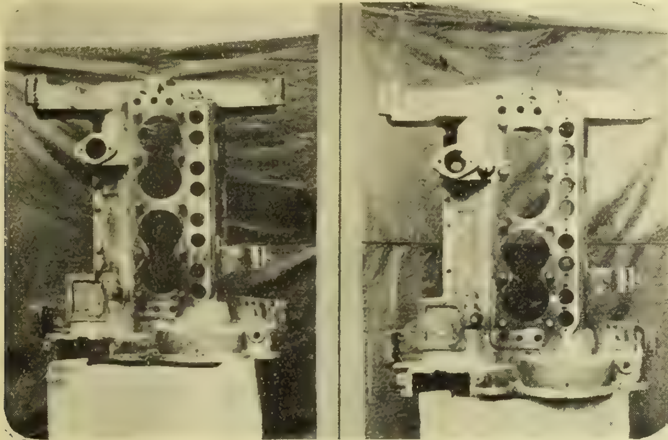


Fig. 7. — Réparation d'un carter d'automobile en aluminium par soudure autogène.

En principe, toutes les machines à souder électriquement se composent d'organes mécaniques qui permettent d'obtenir une pression des pièces au moment même où le passage du courant amène la fusion du métal au même point. L'emploi de ces machines est très simple : c'est généralement au moyen d'une pédale que le maniement de l'appareil est exécuté.



Fig. 8. — Soudure montante de l'aluminium.

En ce qui concerne la soudure des tôles en aluminium et pièces de forte épaisseur, la haute conductibilité calorifique du métal empêche la localisation de la chaleur. Pour les tôles de faible épaisseur, les résultats sont satisfaisants : voici des éprouvettes soudées par points qui ont cassé en dehors de la soudure.

Pour les fils d'aluminium, les résultats ont été satisfaisants : le fil s'est rompu en dehors de la soudure.



Quel que soit le mode d'obtention ou de construction du matériel, il est presque toujours nécessaire d'opérer un finissage des surfaces, soit simplement au point de vue purement esthétique, soit afin de préparer le métal à recevoir une couche protectrice, suivant un des procédés que nous allons rapidement passer en revue.

Le sablage est un procédé mécanique peu coûteux qui donne d'excellents résultats.

En se basant sur l'action chimique de certains réactifs, on peut obtenir un décapage superficiel; on emploie généralement des solutions alcalines de soude ou de potasse : on peut opérer dans des solutions chaudes, à environ 10 p. 100, en surveillant avec soin la marche de l'opération, l'action des alcalis sur l'aluminium étant très violente. Il faut ensuite bien laver la pièce, et même la passer dans une solution légèrement acide (acide nitrique) afin de neutraliser toute trace d'alcali qui serait désastreuse pour la conservation du métal, et après lavage, la sécher dans la sciure de bois.

L'emploi des acides fluorhydrique ou phosphorique, qui sont également de bons dissolvants du métal, produit un décapage moins brutal que les alcalis et donne des surfaces mates très douces et très agréables à l'œil.

Moyens de protection. — Tous les métaux ont besoin d'être protégés; leurs emplois dépendent de l'efficacité de la protection, et, si on n'en avait pas trouvé d'excellents pour le fer et l'acier, leurs emplois auraient été certainement bien restreints. L'aluminium d'ailleurs est lui-même, dans certains cas, un excellent protecteur. Les vernis et peintures à l'aluminium obtenus par l'incorporation de poudre de métal dans des solutions de matières résineuses ou plastiques qui, par séchage à l'air forment des enduits résistants, sont couramment employés; ils sont excellents pour recouvrir les autres métaux, le fer notamment.

On peut également les employer pour recouvrir beaucoup d'autres substances : le bois, la toile, les tissus, etc. Pendant la guerre, un grand nombre de nos avions avaient leurs ailes métallisées à l'aluminium, et l'écran des établissements Durand et Jacquet sur lequel vous voyez défiler les projections est métallisé avec ce métal : la luminosité est fortement augmentée et les images sont beaucoup plus nettes et plus chaudes.

Mais ce n'est pas seulement sous la forme de peintures ou de vernis que l'aluminium peut être employé pour recouvrir d'autres substances, sinon directement à l'état métallique par l'emploi du procédé de métallisation ou

par une autre application très intéressante que l'on a désignée sous le nom de calorisation.

La *métallisation* est la réalisation industrielle du procédé Schoop. La Société de Métallisation, qui va réaliser des expériences devant vous, vous fournira tous les détails concernant son procédé. Il consiste à fondre un fil de métal et à pulvériser le métal fondu par un violent courant d'air au moyen d'un appareil appelé pistolet : il se forme un brouillard métallique dont les gouttelettes sont projetées sur les surfaces à métalliser. Les particules, rendues fluides par la violence du choc, se soudent les unes aux autres et l'on obtient une couche extrêmement adhérente, granuleuse lorsqu'elle vient d'être faite, mais qui peut être brillantée par un polissage. L'aluminium peut être appliqué de cette façon, non seulement sur tous les métaux, mais encore sur le bois, le papier, les tissus, le verre, etc. (fig. 9).



Fig. 9. — Métallisation d'une cuve en aluminium.

La *calorisation*, elle, est tout autre chose : elle se rapproche beaucoup de la shérardisation, procédé de revêtement par une couche de zinc obtenue par chauffage de l'objet dans la poudre de ce métal.

L'objet à caloriser est placé dans une boîte en fonte remplie d'un mélange finement pulvérisé d'aluminium et d'alumine en proportions variées, puis chauffé dans une atmosphère neutre pendant un certain temps. L'épaisseur du revêtement dépend de la durée de ce chauffage. Ce procédé est appliqué surtout pour protéger le fer de la corrosion superficielle aux hautes températures. La protection semble due à la couche superficielle d'alumine qui se forme sous l'action de la chaleur; ce procédé paraît présenter un intérêt pour le recouvrement des objets en fonte destinés à entrer en contact direct avec des flammes à des températures pouvant atteindre 800° ou 900° et notamment pour les tubes de chaudières dont on peut ainsi prolonger l'existence.

Voici une micrographie de la section d'un tube calorisé (fig. 10) : la couche externe est de l'alumine; au-dessous on rencontre une large bande

d'un véritable alliage ferro-aluminium qui protège le métal et lui conserve sa structure primitive. Cette application a semblé intéressante pour la protection des tubes des pyromètres qui sont détériorés très rapidement.

Protection de l'aluminium. — Ces moyens de protection sont variés; ils diffèrent avec la destination de l'objet à protéger. Alors qu'une simple peinture suffit si le métal est exposé à l'air humide, une couche épaisse d'une substance toute différente sera indispensable pour le protéger de l'action d'un liquide corrosif.

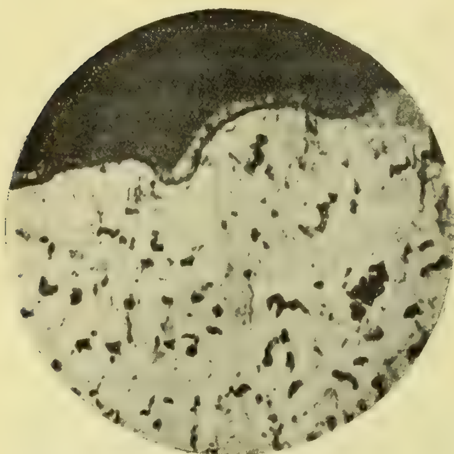


Fig. 10. — Coupe d'un tube de fer calorisé.

On a cherché pour l'aluminium, comme pour les autres métaux, à le rendre plus résistant, soit par un traitement chimique, soit en le recouvrant d'un autre métal. Pour le fer, par exemple, on sait que l'oxyde de fer magnétique constitue un excellent revêtement protecteur; la formation d'un phosphate de fer à la surface du métal remplit également le même objet. On a cherché pour l'aluminium des procédés analogues : la couche d'alumine qui recouvre toujours le métal est elle-même protectrice. On a cherché à l'augmenter artificiellement et la seule difficulté est d'assurer son adhérence; on y est arrivé en favorisant la formation de sels organiques d'alumine avec certains acides gras : acide palmitique, acide stéarique, etc. Ces produits, qui sont en même temps des isolants, ont permis, en électricité, l'emploi des fils d'aluminium sans autre recouvrement.

On a cherché également à produire à la surface du métal un dépôt obtenu par la carbonisation d'une matière organique : il suffit en effet de chauffer l'aluminium recouvert d'huile végétale, de suif ou de savon, pour obtenir une couche brillante, noire et bien adhérente : il se produit à la fois une carbonisation de la substance organique et une oxydation du métal, avec formation d'un sel d'aluminium avec l'acide gras qui, emprisonnant les particules charbonneuses, constitue la couche protectrice.

On a cherché à agir par action chimique : vous avez tous remarqué — et quelques personnes s'en plaignent — que les objets neufs en aluminium noircissent au contact des eaux légèrement alcalines les premières fois qu'on les y fait bouillir. En prolongeant cette ébullition, on arrive à oxyder complètement

les traces de fer qui se trouvent dans le métal commercial et à former une couche extrêmement solide et très adhérente d'un oxyde ferrosoferrique Fe^3O^4 formé par la réduction, sous l'influence de l'hydrogène de l'oxyde Fe^2O^3, formé primitivement.

Ce phénomène a été également attribué à une action électrolytique qui se produit à l'eutectique entre l'aluminium et le composé $FeAl^3$, qui se traduit par un dépôt s'effectuant sur l'aluminum. Cette action semble en relation directe avec le degré d'alcalinité de l'eau, l'élément agissant principalement étant le carbonate de chaux.

Les procédés véritablement industriels dont nous disposons sont constitués par l'application de peintures ou de vernis, d'émaux, de laque, de caoutchouc ou d'un autre métal.

Si l'on veut conserver au métal la surface brillante que lui donne le polissage, on pourra appliquer des vernis transparents : si l'on introduit dans ces mêmes vernis des matières colorantes solubles, on obtiendra des tons colorés du plus joli effet. Si l'on veut, au contraire, recouvrir des surfaces mates avec un enduit protecteur et coloré, on pourra employer des peintures; la seule précaution, dans ces conditions, est, afin d'obtenir une adhérence parfaite, de nettoyer la surface métallique à la ponce pulvérisée, de frotter légèrement avec un chiffon imprégné d'essence de térébenthine et d'étendre la peinture aussitôt après. Les autobus de Paris vous offrent le meilleur exemple de cette application : le panneautage extérieur de ces voitures est en aluminium recouvert de peinture.

Toutefois, les vernis à la gomme-laque ou au copal et les peintures ordinaires susceptibles de résister aux agents atmosphériques, pluie, humidité, etc., n'assurent pas toujours une protection efficace contre les liquides salins, l'eau de mer, et les solutions acides ou alcalines employées dans certaines industries. Nous pouvons employer, dans ce cas, les nitros et les acéto-celluloses qui, dissoutes dans certains solvants, donnent des enduits d'une solidité qui a été éprouvée pendant la guerre; c'est en effet avec ces produits que nous enduisions les ailes entoilées des avions pour en assurer la rigidité et l'imperméabilité; ces produits peuvent s'appliquer, soit au pinceau, soit à l'aérographe; ils peuvent être transparents ou colorés et ils sont d'une résistance à l'eau tout à fait remarquable.

Nous pouvons obtenir un véritable émaillage des surfaces d'aluminium en employant des vernis à base de bakélites : ce sont des résines synthétiques, obtenues par polymérisation des phénols, solubles dans certains solvants qui fournissent des surfaces émaillées d'un poli et d'un brillant remarquables, résistantes à la chaleur, à l'humidité et aux solutions acides ou légèrement alcalines.

Un autre enduit qui nous a donné également les meilleurs résultats, qui résiste bien aux solutions acides ou légèrement alcalines, froides ou chaudes, est la laque indo-chinoise. Il s'agit là d'une application toute nouvelle que nous avons eu l'occasion d'étudier pendant la guerre pour le recouvrement et l'imperméabilisation des hélices d'avions et dont mon collaborateur au Laboratoire de l'Aéronautique, M. Verneuil, a exposé les résultats dans une communication faite à la Société d'Encouragement en janvier dernier (1). La laque indo-chinoise, que l'on récolte en très grandes quantités au Tonkin, est le latex obtenu par incisions du *Rhus succedanea* ou arbre à laque. C'est une matière crémeuse, d'aspect blanchâtre, que l'on étend sur les surfaces au moyen de pinceaux plats (au Tonkin, ces pinceaux sont faits avec des cheveux de Chinois). Le séchage s'opère en exposant les objets à une température assez élevée dans une atmosphère humide. Sous l'influence d'un phénomène biologique, dont le mécanisme a été étudié par M. Gabriel Bertrand, au bout de peu de temps, ce liquide durcit et forme un recouvrement tout à fait remarquable. En effet, la laque participe à la déformation de la matière sous-jacente tout en conservant sa dureté et son élasticité; on peut marteler l'objet, le déformer, le soumettre à l'action des liquides chauds ou froids, acides ou légèrement alcalins : le revêtement reste intact. J'ajoute que les émaux aux bakélites et à la laque sont d'excellents isolants, ce qui rend leur emploi précieux en électricité.

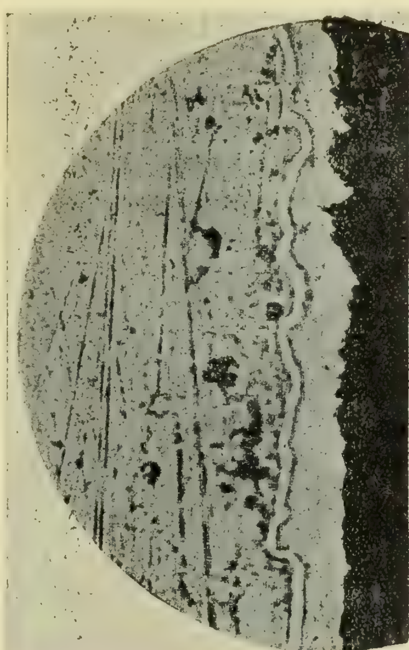
A la suite des essais faits pendant la guerre et des excellents résultats obtenus sur les hélices de nos avions, la Société des laques Indo-Chinoises, établie à Paris, a entrepris le laquage industriel et est en mesure de laquer des objets de toutes dimensions. Les liquides organiques, les boissons fermentées, vin, bière, etc., se conservent parfaitement et indéfiniment sans aucune altération dans des récipients en aluminium laqués ou bakélisés.

Pendant longtemps, l'argenture, la dorure, le cuivrage et le nickelage par voie galvanique ont passé pour irréalisables sur l'aluminium : aujourd'hui ces opérations sont exécutées journellement; la seule difficulté est d'assurer une adhérence parfaite. Les matières grasses et la légère pellicule d'alumine toujours présente sur l'aluminium nuisent à cette adhérence, il faut donc l'enlever avec soin, éviter toute oxydation nouvelle et introduire immédiatement la pièce d'aluminium dans le bain galvanique. Le décapage doit donc être exécuté avec grand soin; il peut être réalisé chimiquement par l'emploi d'un alcali, comme dans le procédé Canac, ou par un moyen mécanique : sablage de la pièce, comme l'ont essayé dernièrement MM. Guillet et Gasnier.

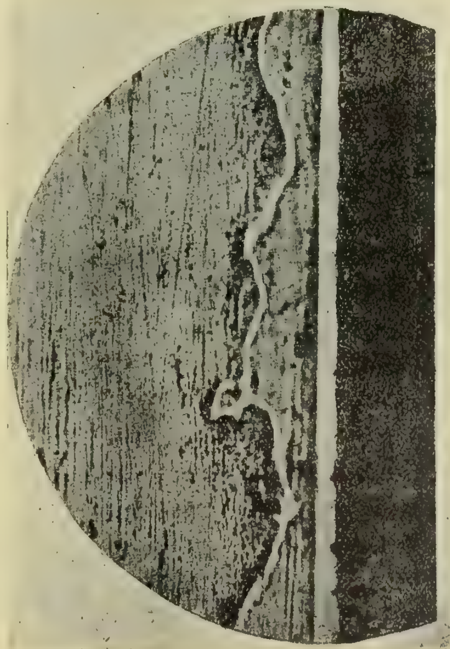
En ce qui concerne le nickelage, le nickel déposé électrolytiquement

(1) Voir le *Bulletin* de février 1921, p. 179.

étant poreux, on est conduit à augmenter l'épaisseur de la couche, ce qui, comme on le sait, est contraire à sa solidité; c'est pourquoi MM. Guillet et Gasnier ont interposé une légère couche de cuivre d'environ 0,01 mm sur la première couche de nickel et déposé ensuite une seconde couche de nickel, plus épaisse que la première, qui est brossée et polie. Outre une adhérence parfaite, on peut, par ce procédé, obtenir une très grande solidité du dépôt, la seconde couche étant d'une épaisseur très uniforme, comme le montre l'examen micrographique (fig. 11).



Micrographie d'aluminium nickelé-cuivré-nickelé.
(Le filet blanc inférieur correspond à la première couche de nickel; le second filet blanc, rectiligne, correspond à la couche superficielle de nickel.)



Micrographie d'aluminium nickelé-cuivré.
(Le filet blanc correspond à la couche de nickel.)

Fig. 11.

La métallisation de l'aluminium par le procédé Schoop peut se faire avec le cuivre, le plomb, le zinc, l'étain, le bronze, le laiton, etc.; les expériences qui seront faites devant vous par la Société de Métallisation, vous montreront tout le parti qu'on peut tirer de ce procédé.

L'ébonite peut servir d'enduit protecteur de l'aluminium, comme pour d'autres métaux. Voici des essoreuses ébonitées employées par la Société La Viscose pour la centrifugation des produits employés dans la fabrication de la soie artificielle.

L'emploi des procédés dont je viens de vous entretenir est, pour chacun d'eux, un cas d'espèce. Le principal est que l'industriel sache qu'il existe des méthodes de recouvrement du métal qui permettront de l'utiliser dans toutes les applications où le contact des liquides pourrait avoir des conséquences désastreuses pour sa conservation.

*
* *

En ce qui concerne la fabrication des objets culinaires et de ménage, l'emploi de l'aluminium est tout à fait justifié, comme vient de le montrer M. Trillat, car, au point de vue hygiénique, il n'offre aucun des inconvénients des objets émaillés, en cuivre, même étamés, et ils ne sont pas fragiles comme ceux en porcelaine.

Je dois ici protester contre la défectuosité de certains articles pour lesquels la recherche d'un bon marché exagéré conduit à employer des épaisseurs beaucoup trop faibles qui ne peuvent donner aucune garantie de bonne cuisson des aliments, de solidité et de durée : on ne devrait employer que du métal fondu ou des objets obtenus par emboutissage dans des tôles d'une épaisseur d'au moins 1,5 mm à 2 mm. Vous pouvez voir dans cette Exposition un choix de ces objets : nous nous sommes naturellement efforcés de les sélectionner afin de ne vous montrer que des spécimens intéressants.

En ce qui concerne l'emploi de l'aluminium dans les industries chimiques, il y a certainement là une foule d'applications extrêmement intéressantes, mais chacune de ces applications ne doit être résolue qu'après une série d'essais préalables; il est en effet souvent impossible de dire *a priori* comment se comportera le métal en présence de substances que l'on fait réagir dans des conditions très spéciales de température, de concentration ou de pression.

Toutefois, d'une façon générale et d'après les nombreux essais que nous avons faits pour répondre en toute connaissance de cause à des questions qui nous ont été posées concernant l'emploi de l'aluminium pour la fabrication de matériel chimique, je vais vous énumérer succinctement les applications et les principales industries dans lesquelles il peut être avantageusement employé.

Un certain nombre d'appareils employés dans les laboratoires cliniques ou les hôpitaux pourraient être construits en aluminium. Tous les chimistes savent dans quel état se trouvent, au bout de peu de temps de service, les étuves, bains-marie, stérilisateurs, etc., généralement construits en cuivre, en tôle de fer ou en fonte; ce n'est qu'en les recouvrant constamment de

peinture ou de vernis qu'on arrive à les protéger des corrosions, tandis que l'emploi de l'aluminium en assurerait une conservation parfaite sans aucun entretien. Certains instruments de précision pourraient également être construits en aluminium : vous avez sous les yeux une balance d'analyse entièrement construite avec ce métal par les Établissements Brewer.

Au point de vue industriel, son emploi est intéressant pour le matériel de transport et pour la manutention des liquides neutres (alcools, benzine, éther, huiles, acétone, sulfure de carbone, pétrole, essences, etc.). Voici un modèle de wagon-réservoir construit par les Établissements Girel, utilisable pour le transport de ces liquides. Matériel pour l'extraction et le raffinage des corps gras, des cires, des huiles végétales et minérales, la récupération et la filtration des huiles usagées, le déshuilage des chiffons (fig. 12 et 13).

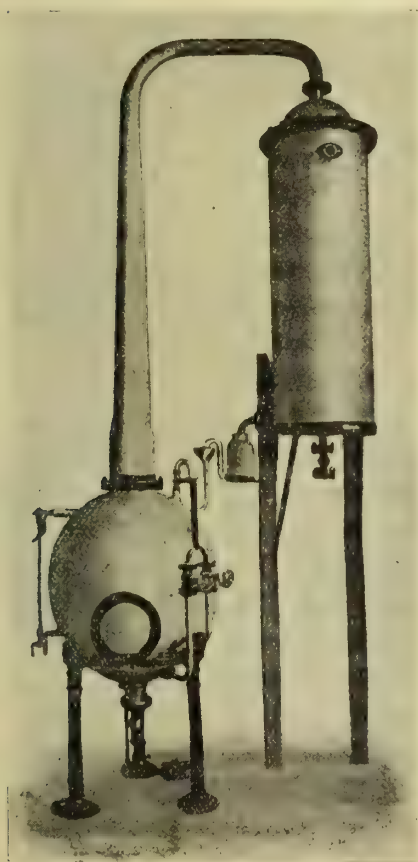


Fig. 12. — Appareil pour la distillation des benzines.

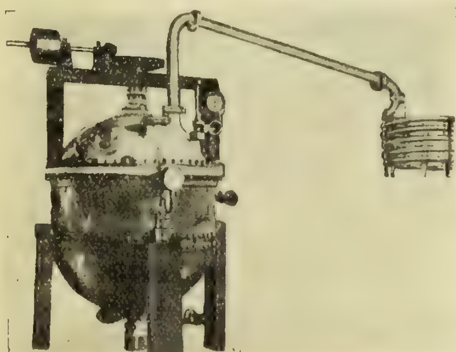


Fig. 13. — Autoclave avec agitateur mécanique et serpentin condenseur.

Matériel pour l'hydrogénation des huiles : il s'agit là d'une opération dont les applications augmentent chaque jour et qui permet de transformer des huiles impropres à la plupart des applications industrielles en graisses solides susceptibles d'être employées en savonnerie et même dans l'alimentation; c'est en soumettant ces huiles à l'action de l'hydrogène, en présence d'un catalyseur, du nickel par exemple, que cette transformation a lieu.

Industrie des suifs et de la stéarine; fabrication de la margarine, de la glycérine et des acides gras. On pourra employer l'aluminium pour remplacer la tôle émaillée ou galvanisée avec laquelle on construit les appareils servant à la cristallisation et à la fusion de ces acides gras, lors de la mise en pains pour l'expression à la presse hydraulique : on évitera ainsi toute coloration de ces produits. Le même métal pourra également servir comme revêtement pour recouvrir les plateaux de presses à chaud où s'effectue la séparation des acides stéarique et palmitique, solides, de l'acide oléique, liquide, tandis que le cuivre est rapidement attaqué et doit être fréquemment remplacé.

L'acide oléique, utilisé en grande quantité dans les industries textiles, est très difficilement conservé dans des barils en bois qu'il traverse facilement lors des grandes chaleurs; les usines d'impression et les teinturiers l'emmagasinent soit dans des réservoirs en fer où il acquiert facilement une coloration rouge, tandis qu'il verdit au contact du cuivre et devient gris dans des récipients de plomb : sa conservation serait parfaitement assurée dans des réservoirs en aluminium.

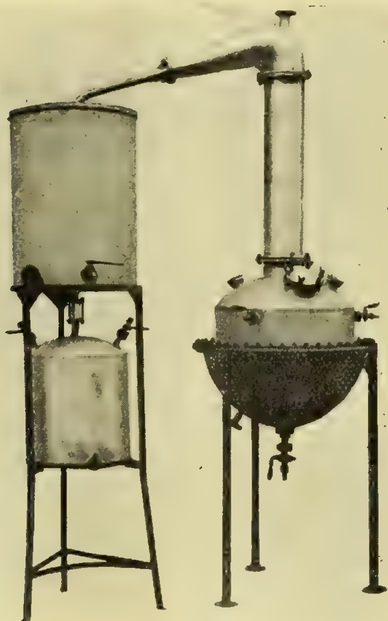


Fig. 14. — Appareil pour la distillation des essences (Odam et Cie).



Fig. 15. — Vases pour la récolte du caoutchouc. (Le latex s'écoule dans ces vases qui sont fixés au-dessous des incisions faites sur les arbres.)

Fabrication des bougies stéariques; industries des colles et des gélatines, des cires et des paraffines, des encres et cirages, des couleurs, vernis et peintures, des matières colorantes et matériel de teinturerie. Vous avez pu voir à l'entrée de cette Exposition la réduction d'un appareil construit par les Établissements Girel pour le compte de la Société Nationale des Matières Colorantes et destiné à la fabrication de l'acétanilide.

Appareils d'extraction et de distillation des essences (fig. 14), fabrication des sirops, des liqueurs et des parfums; fabrication des matières plastiques (celluloïd, vulcanite, ébonite, galalithe), des acétos et nitro-celluloses et de la soie artificielle. L'insensibilité de l'aluminium à l'action de l'acide nitrique pur l'a fait utiliser dans la fabrication des poudres sans fumée pour le matériel servant à la manutention de cet acide et pour la construction des cheminées d'évacuation des vapeurs nitreuses formées lors de la nitration de la cellulose, ainsi que pour tous les accessoires servant à la manutention et au transport des nitro-celluloses et de leurs dérivés.

Industrie du caoucthouc et de la gutta-percha, soit dans les exploitations coloniales pour la fabrication des pots que l'on place au-dessous des incisions des arbres à caoutchouc pour recueillir

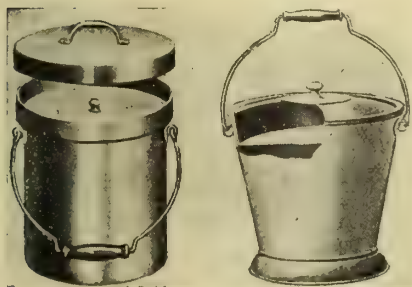


Fig. 16. — Seaux pour la filtration et le transport du latex.

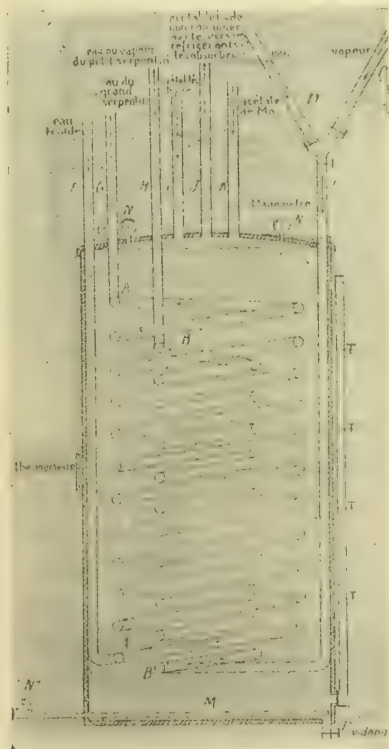


Fig. 17. — Schéma d'un convertisseur-oxydeur pour la fabrication de l'acide acétique synthétique (*Chimie et Industrie*).

le latex (fig. 15), des filtres, des seaux collecteurs (fig. 16) et des cuvettes à coagulation, soit dans les usines métropolitaines pour le matériel nécessaire aux opérations de vulcanisation et de moulage.

Distillation des phénols et fabrication des acides nitrique et acétique par synthèse. Il s'agit là, comme vous le savez, d'industries importantes appelées à un développement considérable. L'acide nitrique est obtenu, soit directement par l'action de l'arc électrique sur l'air sec, soit par oxydation de l'ammoniaque en présence d'un catalyseur : le réchauffage des gaz, qui se

fait dans des tubes de nickel, se ferait plus avantageusement dans des tubes en aluminium, le nickel ayant une tendance à décomposer l'ammoniaque à 500°. Le Bureau of Mines des États-Unis a, du reste, recommandé l'emploi de l'aluminium pour la construction du réchauffeur pour l'amenée des gaz avant leur arrivée au convertisseur, ainsi que pour les tuyaux conduisant le mélange d'ammoniaque et d'air.

En ce qui concerne la fabrication de l'acide acétique synthétique, l'opération consiste, en partant du carbure de calcium, à transformer l'acétylène en acétaldéhyde et à oxyder ensuite ce produit avec de l'oxygène sous pression en présence de catalyseurs. Cette opération se fait dans des convertisseurs-oxydeurs (fig. 17) : construits en tôle d'acier, ils ont 3 m de hauteur et 1,65 m de diamètre; leur revêtement intérieur est en tôle d'aluminium de 5 mm d'épaisseur; les serpentins de refroidissement et les tubes d'entrée et de sortie des produits entrant dans la réaction sont en aluminium, ce métal étant celui qui a le mieux résisté à l'acide acétique.

Enfin, l'emploi de l'aluminium s'imposera partout où l'on aura du matériel exposé aux vapeurs sulfureuses. Alors que la plupart des autres métaux s'altèrent très rapidement dans ces conditions, l'aluminium reste complètement insensible et sa surface conserve son éclat métallique. Nous en faisons actuellement un essai intéressant dans une importante station thermale d'eaux sulfureuses.

Cette liste est certainement incomplète; elle augmentera grâce aux efforts que voudront bien faire tous ceux qui s'intéressent à l'avenir du métal, qu'avec raison, on a appellé le métal national et que, toute autre considération étant mise à part, l'intérêt nous conseille d'utiliser, puisque la Nature a généreusement doté notre sol des plus beaux gisements de minerai d'aluminium que l'on connaisse actuellement, placés à proximité des réserves de houille blanche qui en permettent la fabrication.

R. Guérin,
Ingénieur, Chef des Laboratoires de « l'Aluminium français ».

LES ALLIAGES LÉGERS
T LEUR EMPLOI EN AÉRONAUTIQUE [1]

Monsieur le Ministre, Mesdames, Messieurs,

Lorsque M. le Président de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale me demanda de bien vouloir faire entendre la voix de l'Aéronautique, au cours de la grande semaine, ce fut de tout cœur et avec la plus grande spontanéité que je répondis à son appel.

C'était d'abord pour moi un très grand plaisir de m'entretenir avec une réunion d'élite, sur un sujet qui m'est des plus chers et qui, depuis déjà longtemps, a attiré toute mon attention.

C'était également un devoir de venir exposer à ceux qui possèdent les moyens de production, de transformation et de construction, les besoins les plus impérieux de l'Aéronautique.

La Société d'Encouragement a voulu donner à cet élan de l'industrie nationale le caractère d'une manifestation. Le mot n'est pas fait pour effrayer même des militaires et je suis sûr que M. le sous-secrétaire d'État de l'Aéronautique, en autorisant avec empressement mon modeste concours, n'a pas été arrêté par un vocable qui indique souvent des participations plus bruyantes et beaucoup moins utiles que celles organisées par la Société d'Encouragement.

Manifestants, nous le sommes avec un enthousiasme et une ardeur qui ne sauraient être refrénés. Nous le sommes avec une conviction profonde, avec une foi sincère, car nous estimons que le sort de l'Aéronautique, qui influera grandement sur l'avenir de la France, dépend du développement qui sera donné à cette branche de notre industrie nationale.

Quitte à être accusé d'un certain impérialisme aéronautique, je n'hésite pas à avancer que c'est dans le domaine de la navigation aérienne qu'on trouve les applications les plus importantes des métaux et alliages légers. Dans les autres domaines, c'est le progrès marqué par des avantages incontestables. Dans le domaine de l'air, c'est la condition indispensable de l'existence.

(1) Conférence faite par l'auteur, le 26 mai 1921 en séance publique, présidée par M. Laurent-Eynac, sous-secrétaire d'État de l'Aéronautique et des Transports aériens. (Voir le compte rendu de cette séance à la page 1008 du présent numéro.)

Pendant la guerre, la quantité d'avions à mettre sur le front était fonction de la quantité d'aluminium dont on pouvait disposer. L'Aéronautique a reçu la part du lion, droit qui lui a été généreusement reconnu par tous les services.

En temps de paix, tous les appétits peuvent être satisfaits. Le facteur quantité est moins prépondérant. Aussi, mon impérialisme vous apparaissant moins dangereux, je vais me permettre, en toute tranquillité, de justifier à vos yeux, les raisons de ces prémisses.

Dans une première partie, nous exposerons les données du problème à résoudre telles qu'elles se présentent à l'heure actuelle.

Dans une deuxième partie, nous vous présenterons quelques avions modernes, avec les détails de construction qu'ils comportent.

Dans une troisième partie, nous parcourrons rapidement le cycle : production, transformation, construction, en faisant quelques stations aux points qui intéressent plus particulièrement l'Aéronautique. Mais j'insiste particulièrement sur ce fait : Tout ce qui sera exposé dans cette conférence a, généralement, des origines françaises et est le résultat de travaux nationaux. La technicité étrangère n'est invoquée que par le rappel de documents connus, publiés dans la littérature internationale et ne constituant un secret pour personne.

Placé sur ce terrain solide, nous allons procéder au développement de notre sujet.

I. — Analyse du problème. Choix des matériaux.

Les produits entrant dans la construction du matériel aéronautique doivent être présentés au constructeur avec les qualités intrinsèques minimum susceptibles d'assurer avec régularité la *légèreté* et la *sécurité*.

Nous examinerons ces deux premiers critères qui nous permettront de tirer certaines conclusions. Nous ferons alors entrer en jeu d'autres considérations, à savoir : *la considération aérodynamique*, sur l'importance de laquelle il serait puéril d'insister, et *la considération économique* qui ne saurait être négligée, particulièrement en temps de paix. Elle est vitale pour l'aviation civile dont elle est un élément de succès.

Après avoir fait cette analyse, nous en tirerons les conclusions qu'elle comporte relativement au choix des matériaux.

Facteur légèreté. — Densités. — L'étude de ce critère nous amène à considérer les densités des différents matériaux dont l'emploi s'offre à l'aéronautique, à savoir : le bois, l'acier, l'aluminium, les alliages légers à haute

résistance (à base d'aluminium), les alliages ultra-légers à haute résistance (à base de magnésium). Le tableau suivant les résume :

Matériaux.	Densité.	Densité par rapport au bois.
Bois	0,45	1
Acier	7,6	17,0
Aluminium	2,6	5,8
Alliage léger à base d'aluminium (type duralumin)	2,9	6,5
Alliage léger à base de magnésium (type électron)	1,8	4,0

Conséquences. — 1° A égalité de poids et toutes autres dimensions étant égales, les épaisseurs, par exemple, seront réduites :

dans le rapport de 1 à 17 pour l'acier,
— — 1 à 5.8 pour l'aluminium,
— — 1 à 6,5 pour le duralumin,
— — 1 à 4 pour l'alliage de magnésium.

2° Cette diminution des masses ne coïncide pas avec une égalité de résistance dans la construction, le facteur *égalité du taux de sécurité* n'étant pas entré en ligne de compte.

3° La réduction brutale des dimensions en fonction de la densité des matériaux utilisés peut conduire à des épaisseurs si faibles qu'elles soient prohibitives pour la solidité de la construction. Exemple : l'acier qui réduit à 1 mm une épaisseur de bois de 17 mm.

Facteur sécurité. — LIMITES ÉLASTIQUES ET TAUX DE TRAVAIL. — Les *limites élastiques* constituent le point de départ du *taux de sécurité*. En les évaluant très prudemment, c'est-à-dire en fixant un chiffre nettement au-dessous de la limite apparente, c'est-à-dire aussi voisin que possible de la valeur réelle, nous pouvons adopter les valeurs suivantes :

Matériaux.	Limite élastique E (en kg : mm²).	Charge de rupture R (en kg : mm²).
Bois	»	11
Acier au carbone 1/2 dur traité	45	80
Acier spécial traité nickel-chrome, n° 1	75	90
Acier spécial nickel-chrome, n° 2	140	170
Aluminium	5	9
Alliages légers type duralumin *trempé*	22	38
Ecroui	45	50
Alliages légers au magnésium	20	30

Tout d'abord remarquons l'écart existant entre les limites élastiques et les charges de rupture des métaux ou alliages. Ceci constitue une sécurité en ce sens que tout effort anormal ayant dépassé la limite élastique, c'est-à-dire ayant occasionné une déformation permanente est décelé ; le métal « avertit ». Avec le bois, il n'y a aucune marge de ce genre.

Notons également que les intempéries n'ont pas d'influence sensible sur la valeur des caractéristiques des produits métallurgiques mis en œuvre. sous réserve éventuelle d'une certaine protection à donner à ces derniers. Il en est tout autrement du bois qui voit ses caractéristiques diminuer sensiblement suivant son degré de dessiccation.

Le taux du travail du bois dans l'aviation est calculé en général à 4 kg : mm². Étant donné la charge de rupture qui est de 11 kg : mm², on voit que le coefficient de sécurité n'est pas exagéré.

Si nous envisageons comme précédemment *l'égalité de poids* pour les pièces quels que soient les matériaux qui les constituent, nous en concluons que :

L'acier	doit travailler à	68	kg : mm²
L'aluminium	—	23,2	—
Le duralumin	—	26	—
L'alliage de magnésium	—	16	—

L'aluminium, même écroui, ne résoudra jamais la question. Seuls, l'acier, le duralumin écroui et l'alliage de magnésium la résoudraient à la rigueur. Il y a toutefois lieu de noter qu'ils travailleraient à un taux de sécurité insuffisant et que le duralumin écroui présente des résiliences tellement faibles qu'il serait dangereux de l'employer dans cet état pour des pièces importantes de planeur. Cette remarque trouve son application particulière pour les pièces travaillant à la traction et à la compression.

Nous pouvons donc conclure qu'une construction métallique non originale, c'est-à-dire basée sur des principes analogues à ceux de la construction en bois, comportant, par simple substitution, des pièces de même forme et des assemblages similaires, augmenterait le poids mort de l'appareil et procurerait ainsi un $\frac{P_1}{\pi}$ trop élevé (P_1 = poids du planeur; π = poids total).

Dans une telle conception, on est amené à n'établir en métal que les organes principaux que l'on désire renforcer, dût-on les alourdir.

Nous verrons qu'il en sera tout différemment pour une construction métallique rationnelle, s'inspirant de procédés nouveaux et formes spéciales des éléments d'assemblages et des matériaux mis en œuvre.

Modules d'élasticité. Moment d'inertie. — Les modules d'élasticité des différents matériaux sont les suivants :

Bois	1.000
Acier	22.000
Aluminium.	6.000
Duralumin	8.000
Alliage de magnésium.	4.250-4.500

Considérons des pièces principales que pour des raisons de solidité on est amené à construire en métal ou alliage léger. On a éliminé pour ces parties, le bois et l'aluminium pur dont la résistance unitaire est trop faible. Il nous reste l'acier et les alliages légers à haute résistance. Nous voyons qu'une discussion peut s'engager relativement au choix de l'un ou l'autre de ces matériaux. Donnera-t-on la préférence à l'acier? Donnera-t-on la préférence à l'alliage léger?

Cette indécision ne peut naître que lorsqu'il s'agit d'une pièce maîtresse de la construction pour laquelle l'acier peut être envisagé (longeron, poutres d'ailes). Elle est d'ailleurs immédiatement levée s'il s'agit de petits appareils pour lesquels l'emploi de l'acier occasionnerait un supplément de poids considérable, car dans ce cas l'hypothèse de l'égalité de poids conduirait à des épaisseurs trop faibles qu'il faudrait renforcer. On alourdirait ainsi la construction sans compenser cet alourdissement par aucun avantage.

Plaçons-nous donc dans le cas d'un longeron ou poutre devant entrer dans la construction d'un appareil géant.

Flexion. — Nous savons que la grandeur des flèches prises par des poutres métalliques encastrées à leurs deux extrémités ou seulement à l'une d'elles est inversement proportionnelle au produit EI des modules d'élasticité E, par les moments d'inertie I.

Si les moments d'inertie étaient égaux, les plus grandes flèches seraient obtenues avec l'alliage léger à haute résistance et il pourrait en résulter des ruptures, notamment à l'aplomb des encastrements. Mais les moments d'inertie varieront en sens inverse et il est possible de compenser par la valeur du moment d'inertie, compte tenu de la densité de l'alliage et du taux de sécurité adopté, la modicité du module.

L'épaisseur de la pièce en duralumin pourra à égalité de poids être triple de celle de l'acier, ce qui assurera la rigidité de la construction et palliera à l'inconvénient précité ou même le supprimera.

Voyons encore la conséquence de cette augmentation de section au point de vue vibratoire.

La faible densité de ces produits permet l'éloignement de la vitesse critique vibratoire, en dehors de la vitesse de régime des organes en mouvement.

Il y a *vitesse critique*, lorsqu'il y a coïncidence entre la période vibratoire propre à une pièce donnée et la période de vibration d'organes dont elle est solidaire. Le fonctionnement à la vitesse critique occasionne des ruptures. Or en substituant l'aluminum ou l'alliage d'aluminium à l'acier et en doublant la section on a encore le bénéfice de poids et un $\frac{I}{V}$ 4 fois supérieur, ce qui remonte d'un certain nombre d'octaves les résonances critiques et empêche une coïncidence funeste.

Si, au lieu de prendre un alliage léger, on a recours à un alliage ultraléger, type magnésium, les résultats ci-dessus indiqués sont encore améliorés. Il semble donc logique de donner la préférence à l'alliage léger sur l'acier. D'ailleurs, l'avantage de pouvoir réaliser une construction homogène en alliage léger est de nature à faire prévaloir cette solution. Et effectivement, la construction s'engage, en majeure partie, dans cette voie.

D'après les seules considérations précédentes, qui ne supposent aucune révolution dans la construction, nous aboutissons à l'emploi du métal et de préférence de l'alliage léger dans les parties maîtresses de l'appareil. Le bois est utilisé pour un certain nombre d'organes et la toile, élément éminemment léger, qui ne joue qu'un simple rôle de couverture et de protection de l'aile mince sans contribuer à la consolidation, conserve toute sa valeur.

Facteur aérodynamique. — La finesse d'un avion, sa qualité de vol est caractérisée par l'expresion

$$\frac{Rx}{Ry} = \frac{Kx}{Ky} + \frac{\sigma}{S} \times \frac{1}{Ky} = \frac{P}{\pi}\ (1). \qquad (1)$$

Cette expression doit être aussi petite que possible. C'est une somme de deux termes que nous allons examiner.

Dans le second terme $\frac{\sigma}{S} \times \frac{I}{Ky}$, entre le rapport $\frac{\sigma}{S}$ dans lequel σ représente le coefficient des résistances parasites, c'est-à-dire les résistances des câbles, des haubans et en général des parties non sustentatrices qui opposent à l'air des résistances à l'avancement. Et cependant, avec des ailes minces,

(1) Rx = Coefficient de traînée de l'avion.
Ry = Coefficient de sustentation de l'avion.
Kx = Coefficient unitaire de traînée.
Ky = Coefficient unitaire de sustentation.
$\frac{Kx}{Ky}$ Représente donc le rapport entre la résistance à l'avancement et l'effort sustentateur.
S = Surface de sustentation.
σ = Coefficient des résistances parasites.
P = Effort propulseur.
π = Poids total de l'avion.

pour assurer l'entretoisement, la rigidité et la solidité de l'ensemble, ces attaches sont indispensables.

La diminution de $\frac{\sigma}{S}$ permet *l'augmentation de la vitesse*, l'augmentation du rendement propulseur entraînant *l'économie du combustible* pour un parcours déterminé, la *diminution possible et dans certaines limites de la surface* entraînant la diminution de poids mort. Ce sont là des conséquences vitales pour l'aviation.

Comment diminuer $\frac{\sigma}{S}$? *En ne laissant subsister de l'appareil que les parties vitales, fuselage et ailes.* Alors ces dernières devront abriter dans leur intérieur les organes de consolidation.

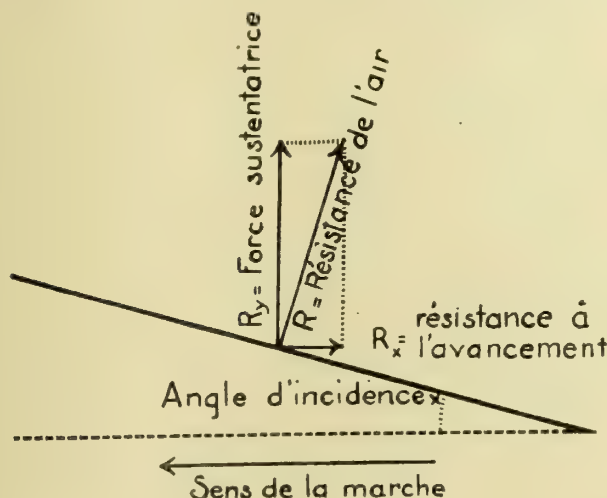


Fig. 1.

Poussant plus loin dans cette voie et toujours afin de diminuer le coefficient néfaste, les provisions d'essence, les moteurs, etc., seront logés dans les ailes. Ces dernières vont donc forcément devenir très épaisses (0, 80 m, 1m et plus). Ce seront de véritables magasins, dotés de dispositifs spéciaux et pour lesquels il faudra envisager des modes de construction appropriés.

Dans cette hypothèse de l'aile épaisse, permettant de réduire $\frac{\sigma}{S}$, qu'est devenu l'autre terme $\frac{Kx}{Ky}$? Malheureusement il augmente. C'est-à-dire que l'aile épaisse *prise isolément* est inférieure au point de vue aérodynamique à l'aile mince. Mais tout ce que nous demandons c'est que la grandeur de l'augmentation du premier terme soit inférieure à la grandeur de la diminution du second. Ce n'est donc pas l'aile seule qu'il faut considérer, mais

l'appareil dans son ensemble, c'est-à-dire comparer l'appareil à ailes minces avec toutes les résistances parasitaires et l'appareil à ailes épaisses libéré de toutes ces résistances. *L'expérience montrera les limites dans lesquelles la solution de l'aile épaisse présente des avantages supérieurs aux inconvénients.*

Et alors, le talent de l'ingénieur sera de reculer dans la limite du possible les limites en question, car l'adoption de l'aile épaisse conduisant à la construction originale complètement métallique donne satisfaction à la quatrième exigence de l'aéronautique qui est le *facteur économique.*

Comment sera conçue et établie l'aile épaisse? Dans cette nouvelle conception, toutes les parties de l'aile devront concourir à la résistance de l'ensemble. Les surfaces même recouvrant les ailes devront participer à la résistance de celles-ci. Elles seront donc métalliques, se faisant pardonner par cette contribution à la solidité de l'appareil le supplément de poids qu'elles entraînent. Les surfaces des ailes seront les semelles d'une poutre, l'une des faces travaillant à la tension (et à la flexion), l'autre des faces travaillant à la compression (et à la flexion), dans le cas de l'appareil en vol et inversement lorsque l'appareil est au repos ou atterrit.

L'étude méthodique d'une construction ainsi conçue supprime le bois et la toile que les considérations précédentes n'avaient pas éliminés. L'ingénieur aura le choix entre les différents matériaux métalliques qu'il sélectionnera en se basant en particulier sur les modules d'élasticité et les moments d'inertie. C'est vous dire, Messieurs, que place est faite plus large que jamais à ces alliages légers à haute résistance qui nous occupent aujourd'hui.

Facteur économique. — Si l'on est conduit par les considérations aérodynamiques à la solution de l'aile épaisse, c'est-à-dire à la solution de l'avion complètement métallique, c'est-à-dire encore, à l'emploi presque absolu des alliages légers, nous obtenons l'immense avantage de donner par celà même, satisfaction au facteur *économique d'emploi.*

En effet, sous les réserves mentionnées au paragraphe précédent, la finesse de l'avion sera augmentée, donc l'économie de combustible sera réalisée; enfin, il ne sera plus indispensable de prévoir pour la flotte aérienne en service des hangars très onéreux, les intempéries n'ayant pas sur les appareils métalliques, les influences désastreuses qu'elles ont sur les appareils en bois et toile.

Après avoir ainsi exposé le problème dans son ensemble nous allons passer en revue quelques appareils en voie d'évolution ou nettement modernes, qui permettront de matérialiser ces notions un peu abstraites et qui donneront une idée de la proportion considérable de métaux ou alliages légers mis en œuvre pour édifier de semblables constructions.

II. — Revue de quelques constructions nouvelles.

Quand les appareils sont à ailes minces, la construction est, forcément, hétérogène. Toile pour la couverture des ailes; acier ou alliage léger pour les pièces maîtresses; alliage léger pour la plupart des autres pièces.

Avec les ailes épaisses, naît l'appareil entièrement métallique.

Un certain nombre de constructeurs français sont déjà engagés dans la voie de l'aile épaisse, voie qui leur a été tracée, dès 1910 par l'ingénieur Levavasseur, constructeur de l'avion *Antoinette*. Malheureusement à cette époque, Levavasseur ne disposait pas de moteurs assez puissants pour voir le succès couronner ses efforts.

(Des projections d'appareils et d'éléments d'appareils français et étrangers ont illustré la deuxième partie de cette conférence).

III. — Mise en œuvre des métaux et alliages.

Aluminium.

Nous ne dirons que peu de chose sur l'aluminium pur. *C'est par ses alliages qu'il offre le plus haut intérêt pour l'aéronautique.* Il se présente, sous forme de produits coulés et sous forme de produits transformés.

Le tableau suivant en résume les caractéristiques.

Métal.	État.	R	E	A	Δ, Chiffre de Brinell.	ρ	Module d'élasticité.	Densité moyenne.
Aluminium . . .	Coulé.	7	3,5	7	23	2	6.000	2,6
Aluminium . . .	Laminé, étiré et recuit.	9	5	38	25	8	6.000	2,6

Produit coulé. — L'aluminium à l'état coulé possède des caractéristiques très faibles. Quoiqu'on ne demande pas aux pièces coulées des caractéristiques élevées, tout au moins, en vue d'éviter les chocs et les matages, cherche-t-on à avoir une dureté superficielle suffisante. Nous avons évalué cette dureté minimum à 30 unités Brinell, dans la zone thermique de travail (200° à 300° pour les pistons de moteurs). Ceci exige un chiffre de dureté de départ de 50 à 60 unités Brinell. (Ce chiffre est de 23 pour l'aluminium coulé.) Donc à l'état coulé, l'aluminium *pur* offre peu d'intérêt pour l'aéronautique.

Produit transformé. — L'aluminium n'est employé sous forme de produit transformé (tôles, bandes, etc.), que pour les parties qui n'ont à subir qu'un travail peu important (tôles de fuselage).

Alliages d'aluminium de moulage.

Nous dirons un mot seulement, de ces matières premières dont il y a une infinité de variétés.

Au point de vue aéronautique, en dehors de la légèreté permettant en plus de sa qualité intrinsèque d'éloigner par un $\frac{I}{V}$ important la vitesse critique, qualité particulièrement mise en évidence par les travaux de M. de Fleury en dehors du minimum de soufflures et de porosité réclamé pour tous les emplois, il faut attacher de l'importance aux deux propriétés suivantes :

Dureté minimum dans toute la zone thermique de travail. Ce minimum semble être d'environ 30 pour les pièces de moteurs (cylindres, pistons) en vue d'éviter les *matages*;

Conductibilité calorifique maximum et chaleur spécifique maximum.

On évite les échauffements locaux qui engendrent rapidement la détérioration et l'inutilisation des pièces. Or l'aluminium, avec sa conductibilité calorifique de 36, vient à ce point de vue, immédiatement après l'argent et le cuivre. D'autre part, la grande chaleur spécifique de l'aluminium, réduit les élévations de température;

Comme conclusion, les pistons en alliage d'aluminium s'échauffent beaucoup moins que les pistons en fonte, d'où disparition des encrassements et grippements, ce qui a une importance considérable.

Application de cette propriété a été faite, dès 1908, par l'ingénieur français Clerget. Elle prit, à partir de 1915 une extension considérable.

Deux variétés ont été particulièrement employées en Aéronautique : les alliages au cuivre, et les alliages au magnésium.

ALLIAGES AU CUIVRE. — Leurs caractéristiques sont les suivantes :

Alliage.	Type.	R	E	A p. 100	Δ Brinell.	ρ	Module d'élasticité.	Densité moyenne.
Alliage d'aluminium de moulage.	4 p. 100 Cu	13	12	3,8	50	1	»	2,75
	8 — Cu	12	11	1	60	1	»	2,90
	12 — Cu	13	12	1	75	1	»	2,95

La seule inspection du chiffre de dureté explique la supériorité de ces alliages sur l'aluminium pur, coulé.

Le cuivre peut s'additionner de zinc, d'étain, voire même de nickel et les propriétés de ces alliages en sont légèrement modifiées. Mais les charges de ruptures restent généralement inférieures à 20 kgmm². Les limites élastiques sont voisines de la charge de rupture. Les allongements sont faibles.

Les duretés peuvent être élevées jusqu'à 79 ou 80 unités Brinell. En admettant comme nous l'avons dit, au point de vue matage, un minimum de 30 unités Brinell, nous avons établi expérimentalement que l'alliage à

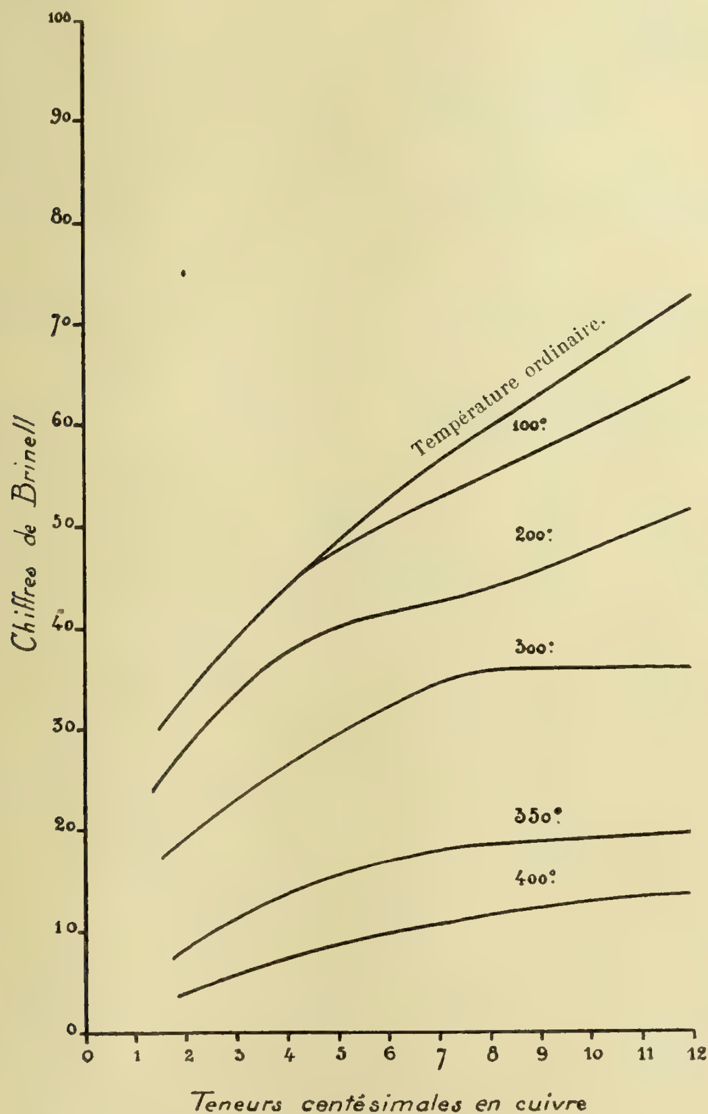


Fig. 2. — Variation de la caractéristique dureté (500 kg) des alliages d'aluminium au cuivre en fonction des teneurs en cuivre pour des températures de 0°, 100°, 200°, 300°, 350° et 400°.

4 p. 100 de cuivre peut être utilisé dans la zone 0°/275°; l'alliage à 8 p. 100 dans la zone 0°/310°; l'alliage à 12 p. 100 dans la zone 0°/350° (fig. 2).

Alliages au magnésium. — Ils sont dénommés sous la rubrique magnaliums.

Le *magnalium* renferme 5 à 25 p. 100 de magnésium. Pour une teneur moyenne de magnésium, sa densité est de 2,8 à l'état coulé. Ses caractéristiques sont les suivantes :

Teneur de magnésium.	Traitements.	R	A
2 p. 100	Coulé au sable	12,6	3
	— et rapidement refroidi	20,1	2
	— dans l'eau	28,1	1
10 p. 100	Coulé au sable	15,0	2,4
	— et rapidement refroidi	23,6	3,4
	— dans l'eau	43,0	4,2

Alliages légers d'aluminium à haute résistance (type duralumin).

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES. — CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES. — Avec ces alliages nous abordons la matière première la plus importante pour la construction de l'aéronef.

Le type de ces alliages légers à haute résistance est constitué par des alliages complexes dans lesquels le cuivre, le magnésium, le manganèse et le zinc, jouent le rôle de constituants d'addition à l'aluminium, le fer, le silicium et l'alumine entrant comme impuretés apportées par l'aluminium. Les proportions de ces constituants d'addition sont en général les suivantes :

Alliage-type : aluminium-cuivre-magnésium.

Cuivre	3,5 à 4 p. 100
Magnésium	0,5 p. 100 environ
Manganèse	0,5 à 1 p. 100
Aluminium et impuretés	Différence

Alliage-type : aluminium-cuivre-zinc-magnésium.

Cuivre	2,5 à 3 p. 100
Zinc	1,5 à 3 —
Magnésium	0,5 p. 100
Manganèse	0,5 à 1 p. 100
Aluminium et impuretés	Différence

Ces alliages doivent à la présence du cuivre et du magnésium, ou même du cuivre, du magnésium et du zinc, leurs propriétés remarquables de durcissement, après refroidissement, durcissement d'autant plus appréciable que le refroidissement est plus rapide.

Les caractéristiques mécaniques immédiatement acquises après refroidissement plus ou moins rapide, évoluent tout au moins, pendant un certain temps. M. Guillet, dans sa conférence, vous a révélé le mystère de cette

transformation par une assimilation avec les phénomènes d'hyper-trempe qui se manifestent dans certains produits sidérurgiques. Nous n'insisterons donc pas sur ce point.

Les essais dont les résultats sont exposés ci-après se réfèrent à l'alliage léger *aluminium-cuivre-magnésium du premier type*. Cet alliage peut servir à fabriquer des produits coulés et des produits transformés.

Comme l'ont rappelé MM. Guillet et Flusin, nous les avons étudiés en 1917-18 afin d'apporter à nos industriels toute l'aide dont ils pouvaient avoir besoin pour la mise en œuvre de ces produits dont l'utilisation se faisait déjà impérieusement sentir. Nous ne pouvons faire ici l'exposition intégrale de cette étude. Le domaine précis du sujet que nous traitons et le temps dont nous disposons nous interdisent les détails. Mais nous ferons des haltes aux points intéressant plus spécialement l'aéronautique.

Produits coulés. — Un seul état, l'état brut de coulée, comportant les caractéristiques suivantes :

$R = 15$
$E =$ voisin de R
$A =$ insignifiant
Densité $= 2,9$

Les résiliences sont forcément très faibles. Il faut noter que la *trempe* de l'alliage coulé n'apporte pas de modification sensible aux propriétés mécaniques. Elle augmente la résistance de 3 ou 4 unités sans améliorer les allongements et les résiliences.

Conclusion. — Le produit coulé n'offre aucun intérêt en général et en particulier pour l'aéronautique.

PRODUITS DE TRANSFORMATION. — Ils comportent trois états :
1° L'état doux ou état intermédiaire;
2° L'état écroui, en général état intermédiaire;
3° L'état de trempe ou état final.
Le résultat de nos études ci-après mettra en évidence l'existence de ces trois états et les caractéristiques se rapportant à chacun d'eux (1).

État final. — L'état final du duralumin est obtenu après trempe à l'eau. Il n'est pas obtenu immédiatement après trempe, mais après un certain

(1) Voir note du Lieutenant-colonel GRARD transmise à l'Académie des Sciences par M. H. Le Chatelier, à la séance du 22 septembre 1919.

temps consécutif à la trempe que nous pouvons fixer à huit jours. Le tableau suivant montre les variations des caractéristiques pendant ces huit jours.

CARACTÉRISTIQUES IMMÉDIATEMENT APRÈS LA TREMPE				CARACTÉRISTIQUES 4 JOURS APRÈS LA TREMPE				CARACTÉRISTIQUES 8 JOURS APRÈS LA TREMPE			
E	R	A	ρ	E	R	A	ρ	E	R	A	ρ
10	30	20	4,5	22	38	22	3,4	22	38	20	3,6

Les caractéristiques demandées par l'Allemagne à l'usine productrice pour l'alliage amené à l'état final sont sensiblement les mêmes que celles demandées par la France. D'ailleurs, ce métal, venu de Duren, passé en Angleterre, puis en France et en Amérique, a vu, naturellement une standardisation s'établir dans les conditions de réception. A la fin de la guerre, après tous les progrès réalisés tant dans la fabrication de Duren, que dans celle des pays alliés, les caractéristiques exigées après la trempe, c'est-à-dire, après l'obtention de l'état final, s'établissent comme suit :

R minimum	38
E —	22
A —	16

Le duralumin est livré sous ce nom en Allemagne par les usines métallurgiques de Duren (Pays rhénan) et sous la désignation de « Métal de Berg » par Karl Berg, Evring (Westphalie).

Le diagramme de la figure 3 ci-joint extrait de notre Communication à l'Académie des Sciences, montre les variations des propriétés mécaniques en fonction des températures de trempe (après huit jours). Il met en évidence que la température de trempe est 475° et qu'on ne saurait dépasser une température de 500° sans compromettre complètement les propriétés de l'alliage traité.

État doux. — Le même diagramme met en évidence un état doux après trempe à 350°. Il faut noter que nous n'obtenons pas, par ce traitement thermique, l'adoucissement maximum. C'est toujours la température de 350° qui le donne, mais la vitesse de refroidissement doit être très faible.

Le tableau ci-après fixe à ce sujet :

Chauffage à 350°.

ρ	A	R	E	Caractéristiques.
6	20	20	6	Vitesse de refroidissement n° 1, 100 degrés maximum à l'heure.
5	20	20	7	— — n° 2, ou refroidissement à l'air.
5	15	20	9	— — n° 3, ou trempe à l'eau.

Les caractéristiques de l'état doux obtenu après chauffage à 350° et refroi-

dissement très lent consécutif à ce chauffage (100 degrés max. à l'heure) sont donc :

R = 20 E = 6 A = 20 ρ = 6

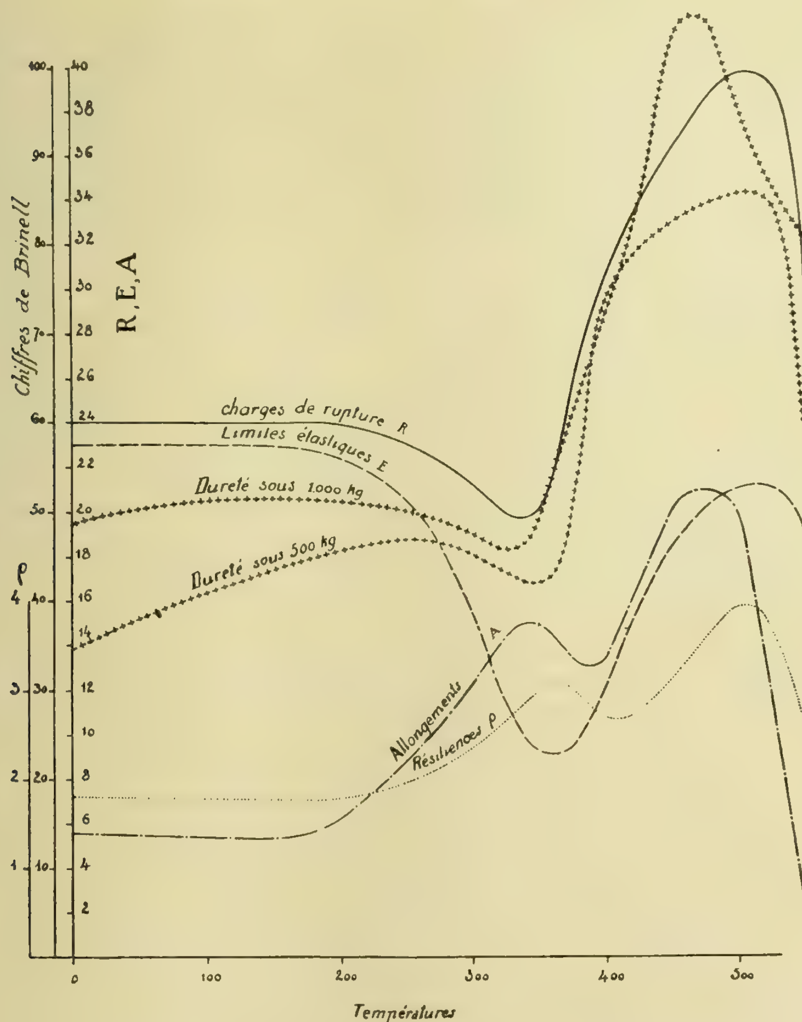


Fig. 3. — Alliage léger d'aluminium à haute résistance : variations des propriétés mécaniques en fonction des températures de trempe (après 8 jours).

Les trois vitesses de refroidissement précédentes appliquées à la température de trempe donnent les résultats mentionnés dans le tableau suivant :

Chauffage à 475°.

ρ	A	R	E	Caractéristique.
4	16	28	12	Vitesse de refroidissement n° 1, 100 degrés maximum à l'heure.
4	18	32	18	— — n° 2, ou refroidissement à l'air.
4	20	40	22	— — n° 3, ou trempe à l'eau.

On voit donc que, suivant les traitements, les limites élastiques suivent la progression suivante : 6, 7, 9, 12, 18, 22. Nous mettrons ultérieurement à profit ces propriétés.

État écroui. — Le duralumin est sensible à l'écrouissage. Mais ce dernier état ne peut constituer qu'un état transitoire parce qu'instable. A l'état écroui, les résistances sont sensiblement augmentées mais les allongements sont presque nuls. On a parlé de certains alliages, type duralumin, qui auraient des résistances extraordinaires de l'ordre de 60. Ces hautes résistances sont dues uniquement à un écrouissage par le travail à froid. Ce travail à froid peut d'ailleurs avoir été exécuté sur l'alliage, amené préalablement, à l'état doux, à l'état final, ou même, à un état intermédiaire dépendant de la température de chauffage et de la vitesse de refroidissement consécutive à ce chauffage. D'ailleurs, quel que soit l'état du métal sur lequel on opère le travail à froid, l'écrouissage détruit toujours les allongements.

Le produit $R \times A$, qui représente sensiblement l'aire du diagramme de *résistance vive* de rupture, est réduit d'une façon incompatible avec le travail de choc qui sera imposé à l'alliage. La fragilité est une conséquence infaillible de ce mode opératoire.

Double trempe. — Nous avons constaté que la double trempe améliore encore l'alliage en lui donnant les caractéristiques suivantes :

$$R = 40$$
$$E = 23$$
$$A = 23$$
$$\rho = 5$$

Effet de la trempe sur le duralumin amené à l'état final ou variation après trempe. — Les essais exécutés pendant les trois premiers mois ne mettent pas en évidence de variations importantes s'ajoutant à celles que nous avons constatées au bout de huit jours. Nous pouvons admettre que le métal subit une sorte de maladie dont il semble à peu près guéri au bout de ce temps. Nous avons constaté que du métal en magasin n'a pas subi d'altération au bout de trois ans. Les caractéristiques seraient plutôt améliorées. Des essais de longue durée doivent être exécutés pour étudier en fonction du temps cette *stabilisation* du duralumin. Nous les poursuivons depuis deux ans.

Nous avons de plus entrepris des essais pour rechercher l'influence de la température, après trempe, sur le processus de la stabilisation. De ces essais, nous pouvons tirer les conclusions suivantes : Au bout de six heures d'immersion dans l'eau bouillante après trempe, la stabilisation du métal est

sensiblement assurée. L'emploi de l'eau bouillante, après trempe, constitue un procédé accélérateur de transformation, résultat qui peut avoir un grand intérêt au point de vue industriel.

Caractéristiques aux basses températures du duralumin à l'état final. — En Allemagne, Unger et Schmitt ont publié un article dans les Technische Berichte, volume III, cahier 6, relatant les résultats des essais effectués au Laboratoire central des recherches scientifiques et techniques de Neubabelsberg, pour connaître les influences des basses températures sur le duralumin. Ils sont résumés dans le tableau suivant :

		VALEURS MOYENNES		
Température.	Mélange réfrigérant.	Limite élastique.	Résistance de réception.	Allongement à la rupture.
—	—	—	—	—
20°	Air.	24	42,5	21,9
0°	Neige.	23,6	43	21,8
— 40°	Neige + chlorure de calcium.	24	44,1	22,1
— 80°	Neige + acide carbonique.	25,2	44,4	22,7
— 190°	Air liquide.	32,3	53,7	22,7
20°	Courant d'air.	23	42,3	23,3

Dans le dernier essai, les éprouvettes sont restées dix heures dans un courant d'air et ont été soumises aux essais trente-cinq heures après. On constate, d'une façon générale, une augmentation de la résistance et de la limite élastique avec la diminution de température.

Caractéristiques du duralumin à l'état final aux températures élevées. — D'après les résultats des essais exécutés au même Laboratoire central des recherches scientifiques et techniques de Neubabelsberg, publiés par les mêmes auteurs (*Technische Berichte*, volume III, cahier 6), la résistance diminue déjà de 10 p. 100 à 100° et de 20 p. 100 à 150°. La diminution de résistance s'accuse rapidement avec de nouvelles élévations de la température.

L'allongement augmente, tout d'abord, avec la température tandis qu'il diminue pour des températures allant de 150° à 200°. A 250°, on retrouve l'allongement primitif, allongement qui augmente, ensuite, avec une élévation de température. Il résulte donc, de ce fait, que l'on doit prendre en considération la diminution de la résistance partout où le duralumin est soumis à la chaleur.

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES ET CHIMIQUES. — La densité du duralumin est de 2,9. D'autre part, dans l'article du professeur Kretzschmar (*Schiffbau*, XXI, n° 17-18, mars-avril 1920), on lit : « Le duralumin est magnétiquement indifférent. Il supporte très bien les conditions atmosphériques et résiste très bien à l'humidité car, ainsi que l'aluminium, il se recouvre d'une couche

oxydée gris clair qui le protège. De plus, il résiste à l'eau de mer, à l'acide sulfurique, à l'acide azotique en solution ou en état de vapeur ainsi qu'au mercure, alors qu'il est facilement attaqué par les lessives et l'acide chlorhydrique ». Nous verrons plus loin la conclusion à en tirer au point de vue du décapage à la lessive de soude.

Au point de vue de la résistance aux agents atmosphériques, il est certain que, ni en France, ni en Allemagne, on ne signale de désagrégations importantes provenant de ce fait.

A l'eau de mer, les coques d'hydravions en duralumin se sont bien comportées.

Une longue expérience de cet alliage si intéressant pour l'aéronautique fixera complètement sur ce dernier point. Il nous semble qu'un vernis protecteur contre l'eau de mer est des plus utiles pour assurer une durée de conservation intéressante.

Contact du duralumin avec le fer et l'acier. — Dans les constructions mixtes, duralumin-acier, on est conduit à mettre en contact ces deux produits. On peut craindre une décomposition électrolytique notamment en présence de l'eau de mer. L'expérience a montré que cette décomposition électrolytique, quoique très faible, existe effectivement.

Soudure. — Pratiquement le duralumin ne se soude pas.

L'étain ne peut être employé car, sous l'effet de l'humidité, il se forme un courant galvanique qui cause la désagrégation des molécules de duralumin soudé. Si on veut employer la soudure autogène, on crée forcément des températures de 700° et la partie soudée n'a que peu de résistance. D'autre part, certaines parties à proximité de la soudure se trouvent recuites à 350° et sont tendres. Si on veut opérer par martelage pour durcir ces parties, on écrouit le métal qui n'a plus la résistance vive de rupture suffisante. Un traitement thermique complet est souvent impossible sur les pièces soudées.

Il faut en conclure que le duralumin n'est à employer que là où la liaison des diverses parties peut être exécutée avec des rivets ou des vis.

Production et transformation de l'alliage léger (duralumin). — Il est à noter que, pour les alliages légers ou le duralumin, il n'y a pas dans les usines, une division très nette dans la fabrication des alliages entre les stades : production, transformation et usinage. En effet, l'usine productrice fait de la transformation avec la production. Mais l'atelier d'usinage fait aussi de la transformation de sorte que le deuxième stade transformation, existe chez

le producteur et chez le constructeur, amenant avec lui l'emploi de traitements thermiques.

Nous estimons que la transformation doit être, sauf cas exceptionnel, effectuée à l'usine de production. Les constructeurs ne peuvent en effet, avoir tout l'outillage nécessaire aux traitements thermiques. Dans ces conditions, les travaux de transformations risquent d'être défectueux et les qualités de l'alliage susceptibles d'être compromises. Pour le duralumin, le producteur doit donc être transformateur. En revanche, le producteur, pour ne pas avoir un outillage compliqué à l'infini, demandera à juste titre de se trouver en présence d'un nombre limité de types standardisés. C'est une règle à laquelle doivent se plier les différents constructeurs, qui y trouveront leurs avantages par une réduction dans les prix et les délais de livraison.

Comme produit de transformation, le duralumin peut pratiquement, nous l'avons vu, se présenter sous trois états, à savoir :

État doux, qui est un état intermédiaire ou état de livraison par le producteur au cas où l'employeur veut exécuter sur le demi-produit, un travail de laminage ou de tréfilage ultérieur;

État d'écrouissage qui résulte d'un travail à froid et qui n'est pas normalement un état de livraison;

État final ou de trempe qui est un état de livraison normal.

Tout d'abord il faut effectuer une transformation sur le produit coulé. Cette transformation a lieu à chaud ou à froid.

Transformation a chaud. — Pour le travail à chaud (forgeage, filage ou estampage), le duralumin est chauffé à 400°/450°. A cette température, il est très malléable. La température est reconnue par le fait que la sciure de bois et le papier placés sur le métal commencent à brûler. Le laminage comporte des passes assez nombreuses, plus nombreuses que pour le laiton pour une même réduction de section.

Transformation a froid. — *État doux.* — Dans le laminage ou l'étirage à froid de l'alliage, il faut avoir recours à des traitements intermédiaires qui ont pour résultat de redonner au métal, la malléabilité compromise ou détruite par l'écrouissage dû au travail à froid. En un mot, l'usine transformatrice doit amener le métal à l'état doux. *Cet état est obtenu par un chauffage à 350° suivi d'un refroidissement aussi lent que possible.* Si l'on élevait la température jusqu'à 400°, on obtiendrait de mauvais résultats.

On peut employer comme bain de chauffage, un bain ayant la composition suivante :

Azotate de potassium, 4 parties.

Azotite de sodium, 1 partie.

Le bain est chauffé au gaz et à la température rigoureusement nécessaire vérifiée à l'aide d'un pyromètre. Suivant que le constructeur voudra lui-même faire de la transformation ou simplement usiner l'alliage, ce dernier lui sera livré à l'état doux ou à l'état final.

État final. — Le traitement pour amener l'alliage à l'état final est le suivant : Chauffer l'alliage dans un bain de sel ayant la même composition que celui destiné au traitement d'adoucissement. La température de chauffage est 475° à 500°. L'alliage au sortir du bain est trempé à l'eau froide. Les pièces sont chauffées de quinze à vingt minutes selon leur importance. *Après traitement le métal doit se reposer pendant huit jours sans même être l'objet d'une manutention quelconque.*

Il faut attacher à cette prescription une importance capitale, et laisser au métal, pendant les huit jours qui suivent le traitement, le repos le plus absolu.

Nous avons dit précédemment que l'immersion après trempe dans un bain d'eau bouillante, réduit à six heures cette période critique, ce qui peut présenter un intérêt primordial au point de vue du transport, de la manutention dans les usines et de l'utilisation du métal.

État d'écrouissage. — Le métal ainsi traité peut être durci encore après le *temps de gestation* par un écrouissage à froid au marteau ou à la presse. L'augmentation de la résistance et de la dureté, n'est obtenue qu'aux dépens de l'allongement. C'est un défaut capital déjà signalé et qui rend sous cette forme, l'alliage très suspect au point de vue aéronautique.

Décapage. — Pour donner au duraluminium un aspect blanc d'argent on peut employer le procédé suivant : Plonger l'alliage pendant environ cinq minutes dans une lessive de 10 p. 100 de soude à une température d'environ 30°.

Pour enlever les taches, on plonge l'alliage dans le bain suivant :

Acide nitrique	3 parties.
Acide sulfurique	3 —
Eau	12 —

Après quoi, l'alliage est lavé à l'eau. Le décapage doit être fait avec grand soin, et il faut particulièrement faire bien attention qu'aucune lessive de soude ne reste adhérente au duraluminium pour qu'elle n'attaque fortement le métal. Même un simple reste de lessive de soude a une influence nuisible sur le duraluminium. Lorsque le duraluminium doit être durci par écrouissage, le décapage a lieu avant le *travail à froid.*

L'alliage léger (duralumin) chez le constructeur. — C'est à *l'état final* que le duralumin se travaille le mieux. A *l'état doux*, il se comporte, au point de vue de l'usinage, comme de l'aluminium pur.

LUBRIFIANT. — Le tournage peut se faire sans lubrifiant. Pour le perçage et l'étirage, on utilise avec avantage l'huile de rave ou l'eau de savon. Pour le moulage, on recommande de graisser abondamment car des fentes se produisent facilement.

RIVETAGE. — Le duralumin ne se soudant pas, il est nécessaire d'avoir recours au rivetage.

Rivetage à chaud. — Il est certain qu'*il n'y a qu'un mode de rivetage rationnel,* à savoir celui qui consiste à river à la température 450° à 475°, température à laquelle il se travaille très bien. Le métal en se refroidissant se trempe sans s'écrouir sensiblement, de sorte qu'il possède toutes les qualités de l'alliage amené à l'état final.

Il faut convenir que ce mode de rivetage présente certaines difficultés d'exécution pratique, qui viennent compenser sa supériorité incontestable. Néanmoins, il semble que pour des parties de construction très soignées, il ne doive pas être abandonné *a priori.*

Rivetage à froid. — Le rivet avec sa première tête, peut toujours être préparé à chaud. Il est ainsi amorcé. Si on veut faire le rivetage lui-même à froid, il faut rechercher un état doux du rivet amorcé. Nous avons vu que l'état doux était obtenu par chauffage à 350° *suivi de refroidissement très lent.* Le rivet est ainsi amené à l'état doux définitif,

$$E = 6 \qquad R = 20 \qquad A = 20,$$

avec une tête à l'une de ses extrémités. Il est bouterollé sur l'autre extrémité. Il se produit un écrouissage important et l'on n'obtient ainsi qu'un résultat moyen.

On peut aussi faire succéder au chauffage à 350°, un refroidissement à vitesse n° 2 (à l'air) ou vitesse n° 3 (à l'eau).

Trempe	$E = 7$	$R = 20$ (n° 2).
	$E = 9$	$R = 20$ (n° 3).

Un autre système consiste à tremper le rivet et le bouteroller *immédiatement* après trempe $E = 10$ $R = 28$ $A = 20$.

La considération des limites élastiques permet les conclusions. Ce *modus operandi* est infiniment plus défectueux et doit être condamné. Sur du métal

en état de transformation intensive, c'est-à-dire « malade », nous greffons une seconde maladie, l'écrouissage. La superposition de ces deux effets nuisibles est de nature à compromettre immédiatement la solidité d'assemblages ainsi constitués.

Cette question du rivetage est d'une importance capitale dans une construction aéronautique en duralumin. C'est par centaines de mille que se comptent les rivets sur un avion métallique. Aussi mérite-t-elle une attention toute particulière de la part des constructeurs. Le rivetage à l'acier ou au fer peut présenter quelques inconvénients au point de vue électrolytique comme nous l'avons vu. Enfin le rivetage au cuivre ou au laiton est à proscrire de la façon la plus absolue.

Alliages de magnésium à haute résistance. Alliages ultra-légers.

Caractéristiques générales. — CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES. — Les alliages de ce genre sont désignés en Allemagne sous le nom d'*Elektron* ou *E. Metall.* Ils ont été établis par la « Chemische Fabrik Griesheim Elektron », près de Francfort. La fabrication de l'alliage se fait à Bitterfeld. Le zeppelin L 49, abattu à Bourbonne, possédait plusieurs objets faits avec de semblables alliages.

Quelques études avaient été faites pendant la guerre (1917-1918) par le Service Industriel de l'Aéronautique. Nous avions chargé M. Portevin, qui pendant la guerre nous a rendu d'éminents services, auquel je suis heureux de rendre publiquement hommage, d'élaborer un certain nombre d'alliages magnésium-zinc. Quelques coulées avaient été réussies, mais le laminage présentait de grandes difficultés. Il était d'ailleurs difficile sinon impossible de distraire le magnésium de sa destination pyrotechnique. Devant la quasi-impossibilité de se procurer le métal lui-même, les essais en restèrent là.

Fin 1919, avant mon départ pour l'Allemagne, je fus chargé d'entreprendre une étude relative à ces alliages ultra-légers. Mon but était de rechercher les influences respectives de l'aluminium, du zinc, de l'étain, voire même du cuivre et du manganèse, comme constituants d'addition. Les alliages furent élaborés par M. de Fleury, et laminés par la Société du Duralumin. Pour descriminer les influences respectives des constituants on coula les alliages suivants :

Alliages binaires	magnésium-aluminium	minimum Mg	90
		maximum Al	10
	magnésium-zinc	minimum Mg	85
		maximum Zn	15

Puis des alliages ternaires magnésium-aluminium-zinc.

L'alliage de composition moyenne étant représenté par

Magnésium	90
Aluminium.	5
Zinc	5

L'étude portait : sur la coulée; sur le forgeage, le laminage et le matriçage; sur les caractéristiques du produit coulé et du produit transformé.

Conclusions. — Le zinc donne à la coulée une fluidité très intéressante qu'on ne peut obtenir avec de l'aluminium seul. Le degré de fluidité croît néanmoins avec la teneur en aluminium. Mais il ne faut pas abuser du zinc qui élève le point de fusion et en conséquence favorise l'inflammabilité du magnésium. En prenant l'alliage de composition moyenne :

Magnésium	90
Aluminium	5
Zinc	5,

on a obtenu les résultats les plus intéressants. Ces résultats moyens de coulée sont :

$$R = 13 \qquad A = 1{,}5.$$

Le laminage méthodique de ces alliages n'a pas donné de résultats très satisfaisants étant donné que les lingots étaient assez malsains. On a obtenu des charges de ruptures d'environ 20 kg : mm^2 avec des allongements peu améliorés.

L'analyse faite sur des échantillons de métal acheté par des industriels aux Allemands, a montré que les alliages en question n'ont pas une seule formule de composition, mais un nombre assez considérable. Pour la clarté de l'exposition nous pouvons dire que nous avons en nombres ronds : le type à 90 p. 100 de magnésium et le type à 95 p. 100 de magnésium, les 10 ou 5 unités restantes étant constituées par des proportions variables d'aluminium, de zinc et d'étain. Il y a quelquefois du fer. L'étain semble favoriser l'allongement.

Parmi la quantité d'essais qui ont été effectués par nous, nous pouvons relever les suivants.

L'alliage à Mg = 90 p. 100 (Al = 5 p. 100; Zn = 5 p. 100) a donné, d'une part :

$$E = 15 \qquad R = 26 \qquad A = 13,$$

et, sur un autre produit :

$$E = 33 \qquad R = 41 \qquad A = 7.$$

Ce qui montre, indépendamment de tout état d'emploi, un alliage ultra-léger sous deux aspects différents.

Avec 5 p. 100 d'étain dans un alliage magnésium-aluminium, à savoir : Mg = 92; Sn = 5; Al = 2, on a obtenu : E = 13; R = 24; A = 14 à 15.

Nous constatons une baisse des limites élastiques mais des allongements très intéressants. On voit donc qu'on a un certain nombre d'éléments dont on peut jouer, suivant le résultat qu'on désire obtenir.

Des tôles filées en France par la Société d'Electro-Chimie et essayées le 24 mai 1921 ont donné : R = 25; E = 20 et A = 22.

L'alliage ultra-léger à haute résistance peut d'ores et déjà, au point de vue de ses caractéristiques, se classer sous la rubrique suivante, représentant des caractéristiques mécaniques minimum :

densité 1,8, soit 33 p. 100 plus léger que l'aluminium,

$$\left.\begin{array}{l} A = 10 \\ E = 20 \\ R = 30 \end{array}\right\} \text{à l'état transformé.}$$

Ces caractéristiques peuvent être certainement dépassées. Ajoutons que ces essais ont été exécutés sur des produits divers, barres, fils, tôles minces et épaisses, profilés, etc.

Caractéristiques physiques. — L'usine de Bitterfeld fabrique trois alliages courants, désignés commercialement par les marques CM, Z et AZM. Dans la publicité qu'elle effectue à leur sujet, elle donne les renseignements suivants relatifs aux propriétés physiques.

Alliage.	Marque CM.	Marque Z.	Marque AZM.
Conductibilité électrique	21,5 à 22,5	16 à 18	12 à 13
Coefficient de température	0,0038	—	—
Conductibilité calorifique	0,38	0,38	—
Chaleur spécifique	0,25	0,24	0,24
Coefficient de dilatation calorifique	0,000027	—	—
Point de fusion	650	635	630
Poids spécifique	1,74	1,83	1,84

Influence de la température sur les propriétés de l'alliage de magnésium. — Dans sa publicité industrielle, la Chemische Griesheim Elektron donne les renseignements suivants relatifs à l'influence de la température sur le métal Elektron.

a) Températures basses. — De — 20° à 0°, pas d'influence notable sur les limites élastiques et les charges de rupture. L'abaissement maximum de la limite élastique est de 3, 6 p. 100; celui de la charge de rupture 5 p. 100 et celui de l'allongement de rupture 4 p. 100.

b) Températures élevées. — On constate que l'abaissement des limites élastiques et des charges de rupture pour les températures voisines de 100°, ne descend pas au-dessous de 12 p. 100 avec forte augmentation des allongements et de la contraction.

Inflammabilité. — L'usine appelle l'attention de sa clientèle sur les points suivants :

1° L'inflammabilité du métal se produit lorsqu'il a été chauffé au-dessus de son point de fusion;

2° Le métal enflammé ne peut continuer à brûler qu'en sections minces (feuilles de magnésium);

3° Danger de feu par les copeaux, surtout au contact de l'eau.

Pour montrer que le danger de l'inflammation de l'élektron non réduit en copeaux minces n'est pas fondé, la Griesheim Elektron s'appuie, pour donner toute tranquillité à sa clientèle, sur les exemples suivants :

1° Confection des archets de prise de courant des tramways en élektron. Le frottement constant et l'action fréquente de l'arc électrique n'enflamment pas le métal. Il n'y a pas d'inflammation non plus dans les porte-balais des machines électriques faites en élektron.

2° Un essai d'incendie fut fait à Adlershof. Les autorités craignaient, en dépit des affirmations, que le carter du moteur en métal élektron, monté dans l'avion, ne prît feu sous l'effet d'un risque quelconque d'incendie, d'où préjudice considérable à la sécurité de l'avion. L'essai d'incendie fut effectué de la façon suivante :

On monta une boîte d'engrenage en métal élektron dans un vieil avion à la place du moteur et l'on mit le feu au réservoir rempli d'essence. Par suite de l'explosion de l'essence, l'avion fut, en un instant, la proie des flammes et l'effet de celles-ci était encore activé par le vent. Après que le bois de l'avion fut complètement brûlé, on remarqua que des parties de la pièce de fonte du berceau du moteur tombèrent à terre mais, toutefois, sans brûler. La queue de l'avion s'abattit puis, ensuite, le fuselage avec la partie AV sur les débris de la pièce de fonte. Ce ne fut qu'en réunissant tous ces éléments incandescents en un tas, que l'on put observer que les pièces en métal élektron achevaient de se consumer lentement. Le service de l'aviation émit l'avis suivant : « Le métal élektron fut le dernier à prendre feu. »

Nous avons cru devoir relater ces assertions. Nous ne les commentons pas. Les expériences, à ce sujet, présentent assez d'intérêt pour qu'elles puissent être reprises de façon à donner toute tranquillité aux constructeurs d'avions ainsi qu'aux pilotes.

Caractéristiques chimiques. — Nous empruntons également aux renseignements publiés par la Chemische Fabrik Griesheim Elektron, les résultats suivants et cela, par conséquent, sous réserve d'un contrôle supplémentaire : « L'élektron n'est pas attaqué, comme l'aluminium, par les liquides alcalins. » Très sensible à tous les acides, même organiques faibles, résiste aux acides fluorhydriques purs, pas trop dilués. L'élektron réagit violemment sur les solutions de sels, les chlorures, les sulfates de métaux lourds et l'ammoniaque.

L'élektron n'est pas approprié aux emplois l'exposant constamment à l'humidité. Il résiste aux influences atmosphériques, se recouvre superficiellement d'une peau grise de même que le zinc, mais cette peau protège le métal contre l'oxydation. L'élektron se comporte, même à l'air humide, toujours mieux que le fer. L'élektron résiste parfaitement à l'essence, aux huiles et graisses sans acide.

Pour permettre à l'élektron de résister entièrement à l'influence de l'air et de l'eau, l'usine préconise le recouvrement du métal à l'aide de vernis couleur à l'huile, mastic, asphalte, émail et autres. On recommande tout particulièrement un vernis spécial en bakélite qui rend le métal insensible, surtout quand il est amoli par le feu au contact des acides. D'après les expériences que nous avons faites, nous avons constaté ce qui suit : des plaques enduites de bakélite à différents degrés de polymérisation ont été soumises à l'action des acides sulfurique, chlorhydrique, azotique concentrés, huiles chaudes, essences, soude caustique à diverses concentrations, eau de mer; seule la soude caustique attaque nettement la bakélite. L'attaque diminue quand la polymérisation de la bakélite augmente. De sorte qu'on peut considérer la bakélite comme une protection efficace. Mais il faut avoir grand soin d'éviter les lacunes de vernissage.

Comme protection suffisante contre l'atmosphère, on cite le décapage suivant avec lequel on peut obtenir également tous les tons du jaune laiton au noir en passant par le brun :

Bichromate de soude	300 g
Nitrate de cuivre	94 g
Acide azotique	100 cm^3
Eau	9 600 cm^3.

Ce bain est chauffé à 85°-90°. Les objets nettoyés, polis et graissés sont suspendus dans le bain et balancés 20 à 60 minutes, puis nettoyés à l'eau courante, puis trempés pendant quelques secondes dans de l'eau pure, bouillante. Le bain se régénère par des additions d'acide azotique et de bichromate de soude.

D'après les expériences que nous avons faites, on peut admettre que ce dernier mode de recouvrement protège suffisamment contre l'atmosphère et même l'eau douce. Ces expériences doivent être prolongées pour permettre des conclusions certaines.

L'élektron ne doit jamais être mis en contact avec le cuivre. Pour éviter les effets électrolytiques, il faut l'isoler du cuivre par des feuilles d'aluminium ou de papier.

Soudure. — Jusqu'ici, il n'existe aucun procédé de soudure pratiquement utilisable pour le métal élektron.

Production. — L'élaboration du magnésium dans les meilleures conditions économiques est le facteur dominant de la production industrielle et pratique de l'alliage ultra-léger. Je n'ajouterai rien à ce sujet, à ce qui a été développé par la voix autorisée de M. Flusin, professeur à l'Université de Grenoble.

Quant à la fabrication même de l'alliage ultra-léger, elle comporte une technique de fonderie et de moulage présentant ses difficultés particulières qui seront facilement vaincues, si elles ne le sont déjà, par nos ingénieurs français. Confiance la plus large leur est faite en pareille matière et nous croirions sortir du sujet en insistant davantage.

Transformation. — L'élektron coulé peut subir les opérations de trans formation suivantes : *a*) forgeage, estampage et matriçage; *b*) laminage, emboutissage et étirage.

a) Les opérations de cette série se font à une température de 220° à 230°.

b) Les opérations de cette deuxième série se font à une température plus élevée (300° à 400°). La compression de cet alliage se fait à la température de 400°. Il est à noter qu'on utilise pour cet alliage des presses à filer très puissantes.

L'alliage ultra-léger chez le constructeur. — Le métal se laisse très bien travailler. Avec un angle d'affûtage de 12° à 13° et un angle d'incidence de 10° à 12°, on peut atteindre des vitesses de coupe de 2,8 m : min et l'on obtient au tournage une surface unie et nette ainsi que des filetages propres à arêtes vives. Les forets de 1,8 mm de diamètre tournent avantageusement à 2.000 t : min. En général, toutes les opérations d'usinage se font sans graissage.

Inflammabilité. — Il faut s'efforcer d'obtenir de gros copeaux, car les copeaux fins et la poussière de l'alliage ont une tendance à l'auto-inflamma-

tion, particulièrement s'ils sont soumis à l'humidité. On cite le cas d'auto-inflammation causée par une ouvrière qui travaillait à la fraiseuse à une trop grande vitesse de coupe et formait des copeaux très fins; ceux-ci tombèrent sur le plateau de montage qui, par suite d'un travail précédent sur une pièce d'acier, était humide, et ils s'enflammèrent. Après avoir nettoyé le plateau et réglé la machine à une vitesse normale, l'ouvrière put continuer son travail sans danger.

Pour éviter l'inflammation du métal, il est recommandé de nettoyer aussi soigneusement que possible les machines-outils, établis et ateliers, et de conserver les copeaux et limailles dans des récipients en fer dans des endroits secs. Un début d'inflammation peut, avec assez de présence d'esprit, être arrêté avec un outil ou un morceau de bois; si le feu se propage, employer un liquide extincteur qui doit se trouver à proximité. Celui-ci peut être, par exemple, constitué de deux parties d'oxyde de magnésium et d'une partie d'huile de goudron ou autre huile difficilement inflammable. Le moyen le plus simple est de se servir de sable sec qui doit se trouver dans des seaux, près des machines-outils tant qu'on travaille ce métal. En aucun cas, il ne faut se servir d'eau. D'après *l'Usine*, l'inflammabilité de la poussière du métal, ne serait pas plus grande que celle de la sciure de bois, dans les ateliers où l'on travaille du bois. Si on ne peut éviter l'emploi d'huile pour l'usinage du métal, on ne doit employer qu'un liquide oléagineux neutre.

Traitement thermique au cours de l'usinage. — Du métal élektron devenu cassant par l'usinage peut être rendu à nouveau tendre et usinable par un réchauffage à 400° d'une demi-heure à 2 heures, suivant l'épaisseur.

ANNEXES

Considérations sur le prix de revient des différents produits métallurgiques utilisés en aviation.

Nous extrayons du *Schiffbau*, XXIe année, mars-avril 1920, sous la signature du professeur F. Kretzechmar, le tableau ci-après qui éclaire sur les prix de revient relatifs des différents produits.

La colonne *g* renferme les prix en marks par kilogramme. Ces prix sont ceux de 1918. Ils ne sont donc plus valables actuellement, mais au point de vue comparatif, ils offrent de l'intérêt. Au poids, le duralumin est un peu plus cher que l'élektron.

La colonne *h* donne le prix au décimètre cube. Sous cette forme, l'élektron est beaucoup moins cher que le duralumin.

La colonne *i* donne le prix volumétrique rapporté au kilogramme de résistance. Sous cet aspect le coefficient $i = \frac{h}{d}$ serait sensiblement le même pour l'aluminium, le duralumin et l'élektron.

Enfin la dernière colonne représente les produits R $\times$ A de chacun des métaux envisagés. C'est, nous le savons, une valeur approchée du diagramme de l'aire de *résistance vive ou de rupture*. L'élektron présente à ce point de vue, une infériorité sur le duralumin, puisqu'il a à la fois une résistance et un allongement moins élevés.

Nous estimons que le prix de revient de l'alliage peut être rendu acceptable pour qu'on puisse en entrevoir l'emploi dans les usages commerciaux. Il dépend évidemment d'une fabrication rationnelle du magnésium, qui doit être envisagée et réalisée. Actuellement, le prix de revient d'un carter de moteur en élektron est, compte tenu des densités, à peu près le double de celui d'un carter en aluminium. Le bénéfice de poids est d'environ 33 p. 100, ce qui est intéressant. L'industrie française s'efforcera de procurer cet avantage, dans les meilleures conditions possibles.

Matière.	État.	Densité. *a*	Module d'élasticité. *b*	E (kg : mm²). *c*	R (kg : mm²). *d*	A *e*	Striction *f*	PRIX en marks par kg. *g*	PRIX en marks par dm³. $h = a \times g$ *h*	$i = \frac{h}{d}$. *i*	Coefficient de valeur $k = d \times e$. *k*
Fer fondu	Laminé.	7,85	21.500	37	42	20	53	1,6	12,6	0,30	8,4
Acier N. C. 4	Cémenté.	7,85	»	150	175	8	35	6,4	50,2	0,29	14,0
Acier H. K. H. v	Ex. affiné.	7,85	»	95	110	8	40	4,8	37,7	0,34	8,8
Aluminium	Coulé.	2,6	6.750	2,8	11	12	—	4,0	10,4	0,95	1,32
Aluminium	Laminé ou étiré.	2,7	6.750	16,5	23	22	—	6,0	16,2	0,70	5,06
Duraluminium	Affiné et comprimé.	2,8	6.000	40	46	11	—	14,0	39,2	0,86	5,06
Métal E	Coulé.	1,75	4.250	10	13	5	2	—	—	—	0,65
Métal E	Estampé.	1,8	4.250	13	28	18	14	11,5	20,5	0,74	4,14
Métal E	Laminé doux.	1,8	4.250	—	29	15	—	13,5	24,3	0,84	4,35
Métal E	Laminé dur.	1,8	4.250	—	36	3	17	13,5	24,3	0,68	1,08
Cuivre	Laminé.	8,9	9.000	—	21	36	47	7,5	66,8	3,18	7,56

TABLEAU RÉSUMÉ DES CARACTÉRISTIQUES DES MÉTAUX OU ALLIAGES UTILISÉS DANS L'AÉRONAUTIQUE

MÉTAUX ET ALLIAGES Nature.	État.	R	E	A	Chiffre de Brinell.	C	Module d'élasticité.	Densité moyenne.
Acier au carbone	Doux.	44	26	24	150	36	27.000	7,6
	1/2 dur recuit.	60	34	20	200	15	22.000	7,6
	1/2 dur trempé revenu 650°.	80	45	18	260	25	22.000	7,6
Acier au nickel-chromé	1/2 dur trempé et revenu.	90	75	12	300	13	22.000	7,6
	trempé à l'air.	170	140	5	405	6	22.000	7,6
Aluminium	coulé.	7	3,5	7	23	2	6.500	2,6
	laminé ou étiré et recuit, après laminage ou étirage.	9	5	38	25	8	»	2,6
Alliage d'aluminium de moulage	4 p. 100 Cu coulé.	13	12	3,8	50	1	»	2,75
	8 p. 100 Cu coulé.	12	11	1	60	1	»	2,90
	12 p. 100 Cu coulé.	13	12	1	75	1	»	2,95
Duralumin	coulé.	15		insignifiant		insignifiant	8.000	2,9
	état doux.	20	10	14	60	3	8.000	2,9
	écroui.	50	45	1	»	1	8.000	2,9
	final.	38	22	16	120	4	8.000	2,9
Alliage de magnésium type élektron	coulé.	14	10	2	»	»	4.250	1,8
	laminé.	26 à 30	20 à 24	10	»	»	4.250	1,8

L'entre-repères est donné par la formule $L = \sqrt{66,67\,S}$.
Le module d'élasticité du spruce est 1.000.
La densité du spruce est 0,45.

Messieurs,

Après vous avoir présenté les différents éléments du problème aéronautique, avec les paramètres multiples, et souvent contradictoires, qu'il comporte, j'ai matérialisé ces données abstraites, par la présentation de quelques appareils. J'ai terminé, par un parcours rapide du cycle créateur, production, transformation et construction, se référant à la mise en œuvre des métaux et alliages légers. Une conclusion s'en dégage. Elle justifie mes prémisses, à savoir : l'emploi des métaux et alliages légers à haute résistance se développera de plus en plus, dans l'aéronautique, aviation et aérostation, laquelle faute de temps, j'ai dû passer sous silence.

Je vous ai fait entrevoir deux courants, qui entraînent les techniciens, soit vers la construction classique, à ailes minces, soit vers la construction

moderne, à ailes épaisses. Mais nous n'aurons pas à assister à une nouvelle lutte des classiques et des romantiques, transportée du domaine littéraire sur le terrain scientifique. L'imagination n'a aucun rôle à jouer. L'expérimentation et le travail de laboratoire auront vite fait de fusionner les opinions, pour former une école réaliste, ou si vous le préférez, une école de réalisateurs. Elle existe déjà : le patriotisme français l'a formée. C'est lui qui guide l'ingénieur et le constructeur en vue de garder à la France, la première place qu'elle a su conquérir. C'est lui qui guida le producteur métallurgiste quand il élabora les matériaux indispensables au succès et qui aura l'honneur de forger désormais, pour l'aviation, les ailes de la gloire.

Lieutenant-Colonel C. Grard,
Membre de la Commission de Contrôle aéronautique interalliée à Berlin.

LES MÉTAUX LÉGERS DANS LA CONSTRUCTION MÉCANIQUE ET, EN PARTICULIER, DANS L'INDUSTRIE AUTOMOBILE [1]

Généralités. — Quand les ingénieurs ont l'occasion ou l'obligation pratique d'envisager les métaux légers au point de vue de leur emploi en construction mécanique, ils ne le font pas encore sans méfiance.

Indépendamment de toute question de routine, ou même de la prudence la plus légitime, ils hésitent à envisager qu'un métal de dureté peu accentuée, ayant une résistance et un module d'élasticité peu élevés, une résilience peu appréciable, puisse présenter des avantages quelconques, par rapport aux aciers bien connus, classés, sûrs.

Certes, l'instinct veut que des matériaux légers doivent permettre des constructions plus légères. L'avenir est peu discuté et l'on se berce volontiers de fols espoirs sur les progrès hypothétiques d'une mètallurgie dans l'enfance. On attend à demain pour tirer parti des matériaux utilisables aujourd'hui.

Mais, il semble bien, ainsi que nous le verrons, que certaines lois profondes, relient, au moins en ordre de grandeur, la densité, la résistance et l'élasticité comparées de certaines catégories de matériaux.

Par suite, il ne paraît pas probable que l'on obtienne, à beaucoup près, des métaux légers égaux « à unité de section » aux aciers, comme résistance ou déformations.

Mais cela importe fort peu, car les métaux légers possèdent d'autres facteurs de supériorité, dans la relativité des sections, dans celle des moments d'inertie et dans celle de la répartition des charges et surcharges.

En effet, si demain, nous étions mis en possession d'un corps solide, ayant une résistance et un coefficient d'élasticité encore très petits, égaux à ε, dirons-nous, mais de densité également égale à ε, ce corps permettrait seul la réalisation de charpentes de portée infinie, ce qu'aucun autre « matériau » ne permettrait de réaliser.

Ce corps vaudrait infiniment mieux que les meilleurs aciers, au moins pour le travail en charpentes à grandes portées, où c'est la charge propre, et non la surcharge qui domine le problème.

(1) Conférence faite par l'auteur en séance publique, le 28 mai 1921.

Sans plus que les qualités réalisées aujourd'hui, au point de vue de « résistances comparées des matériaux », les métaux légers présentent, dans nombre de cas, des avantages tellement marqués même par rapport aux aciers, que leur emploi s'imposera sur une échelle insoupçonnée dans la construction mécanique.

On sait que ces métaux légers sont des alliages à base d'aluminium, de densité 2,7 à 2,9 ou à base de magnésium, de densité 1,8, alliages que nos éminents métallurgistes M. le colonel Grard et M. Guillet nous ont fait connaître dans leurs conférences.

Il ne fallait rien moins que les besoins impérieux de l'automobile et de l'aviation, pour ouvrir ce champ d'applications et de débouchés.

Nous allons essayer d'en raisonner succinctement les facteurs dominants.

Les facteurs qui résultent de la faible densité et des caractéristiques respectives des métaux qui nous occupent, et dominent la suite de notre exposé sont : d'abord, la « notion du rôle propre de la section », ensuite, la « notion généralisée des charges et surcharges ».

Rôle propre de la section. — Ce premier point se comprend de lui-même.

Étant donné le rôle du moment d'inertie des sections, on conçoit qu'il soit nombre de cas où le facteur section intervienne à titre équivalent, ou même supérieur à celui de résistance. M. le colonel Grard nous l'a déjà démontré dans la comparaison des ailes minces et des ailes épaisses pour les avions.

Un métal, en outre, ne possède-t-il pas une grande dureté et se mate-t-il facilement? Ne suffit-il pas de prévoir des portées suffisantes pour que la difficulté soit vaincue?

Un métal ne possède-t-il pas de résistances élevées? N'y peut-on parer par un accroissement direct de section?

Ne possède-t-il pas un coefficient élevé d'élasticité? N'y peut-on parer par la forme même de la section adoptée, en accroissant soit les moments d'inertie, soit les épaisseurs locales?

Un métal possède-t-il une faible densité? Mais alors, les remèdes ci-dessus deviennent d'une simplicité et d'une efficacité extrêmes. Les organes, d'un point de vue comparé, n'en sont même pas alourdis. Ils ne perdent rien de leur solidité, rien de leur rigidité, rien de leur résilience globale, comparés à leur exécution avec les meilleurs aciers. Les moments d'inertie sont accrus. Bien mieux, si l'on a, par exemple, à construire des organes allégés à l'extrême, la division de la matière amène toujours à l'emploi d'éléments trop minces en acier.

Les semelles ou croisillons de poutre ou les tubes présentent alors des

flexibilités locales exagérées que nous caractériserons par l'image suivante : l'organe peut supporter des tonnes, d'après le calcul, mais un coup de pouce, ou la poussée du petit doigt (mettons un souffle) suffit à enfoncer ou voiler localement la surface d'un élément. Une vibration infime et répétée jouerait exactement le même rôle. Là, l'emploi des métaux légers devient incomparable, du fait des sections supplémentaires disponibles, ainsi que l'a si bien exposé et illustré M. le colonel Grard, dans sa conférence. Le seul facteur de *section*, en valeur et forme, permet de rétablir, et bien au delà, la rigidité locale.

M. Vuillerme, des Établissements Breguet, nous développerait bien mieux que je ne saurais le faire, les résultats auxquels l'ont conduit pratiquement, ces notions étendues jusqu'à la conception des *résiliences de formes*, selon sa propre expression.

Notion généralisée des charges et surcharges. — Voyons maintenant, le deuxième facteur dominant. La notion des charges et surcharges est usuelle dans la construction des ponts et charpentes à grandes portées. Une poutre, outre les surcharges qu'elle doit supporter, doit d'abord porter son poids propre, que l'on appelle sa charge.

Cette notion peut être, avec avantage, étendue aux pièces en mouvement. La surcharge sera l'ensemble des efforts que l'organe aura à transmettre. La charge résultera des inerties globales ou locales de l'organe, c'est-à-dire de ses mouvements et réactions propres.

Prenons un exemple où la charge constitue l'élément dominant, sinon exclusif, celui d'un rotor à grande vitesse. Les effets dus aux réactions, sont directement fonction de $\frac{1}{2}MV^2$. Or, la masse étant proportionnelle à la densité de l'organe, il s'ensuit que les vitesses circonférentielles limites sous la *charge propre* de l'organe, seront les mêmes pour le métal léger ou l'acier, pourvu que les résistances unitaires soient dans le rapport des densités. La conclusion générale en découle directement.

Dans toute pièce en mouvement, intervient la notion généralisée de charge et surcharge, et cela s'étend jusqu'aux chocs répétés et aux vibrations, si l'on veut comparer avec justesse les métaux.

En ce qui concerne la résistance aux chocs répétés, pour établir une relation pratique, entre la valeur des deux métaux, ne faut-il pas comparer :

1° D'une part, la résistance aux chocs *répétés sous charge* seule, c'est-à-dire, les éprouvettes de sections égales tombant de leur propre poids, d'une même hauteur, de façon répétée, ou ce qui reviendrait au même, de proportionner la surcharge d'épreuve à la densité du métal.

2° D'autre part, de déterminer quelles relativités de sections d'éprouvettes en métaux légers ou lourds, c'est-à-dire du poids du métal, conviennent pour une même résistance, ou même nombre de chocs répétés, sous une *surcharge* égale.

Prise dans cet esprit, l'expérimentation doit aboutir vraisemblablement à la conclusion, qu'à poids moindre, les métaux légers seront supérieurs pour résister aux chocs répétés que les métaux lourds, les déformations locales ou globales décroissant formidablement avec l'accroissement des sections.

En ce qui concerne la résistance aux vibrations, le même problème ne se pose-t-il pas de façon identique?

Ne peut-on le résoudre par la comparaison de deux séries de diapasons ou deux séries de tiges vibrantes. Une série constituée d'une tige en acier, l'autre en aluminium, vibrant d'abord, sous leur propre charge, à section égale; puis une autre série de tiges dont les sections différentes seraient déterminées pour résister à une même surcharge, constituée par une même masse additionnelle.

Bref, selon la nature de l'organe, selon sa fonction, selon le régime adopté par le mécanisme, c'est tantôt sa charge, qui constitue l'élément dominant, tantôt c'est la surcharge.

Mais le constructeur, la plupart du temps, n'est-il pas maître des régimes, qu'il choisit, c'est-à-dire, n'est-il pas maître de conserver constant, ou d'accroître dans une large limite, le rapport de la charge à la surcharge d'un matériel à l'autre. S'il s'agit d'un moteur, par exemple, il aura le choix entre une machine lente, où les organes n'auront à supporter que des surcharges avec charges négligeables, et une machine rapide où les surcharges deviendront négligeables et les charges prédominantes.

L'emploi des métaux légers apporte au constructeur un large degré de libertés supplémentaires, à sécurités égales. Qu'il se hâte d'en profiter.

Ses machines seront moins coûteuses, puisqu'elles tourneront plus vite; la sécurité de fonctionnement sera aussi grande que dans une machine lente, puisque les organes ne seront pas surchargés.

Elles seront plus maniables puisque moins pesantes.

Concluons sur ce point :

Non seulement les organes doivent être appropriés à l'usage des métaux légers, ainsi que nous l'avions déjà dit, mais *la conception même des machines également*; c'est à ce prix qu'on tirera plein parti à employer les métaux légers.

Ne nous y trompons pas, messieurs; il s'agit là d'un changement total d'échelle dans les possibilités ouvertes à la mécanique moderne.

Résistance comparée des matériaux.

Le constructeur ne doit pas perdre contact avec les réalités. Il doit pouvoir donner des mesures. Si nous considérons deux métaux de nature différente, l'un présentant une densité D, une résistance R, un module d'élasticité E et l'autre des caractéristiques D', R', E', il nous apparaît immédiatement que les rapports

$$\frac{D}{D'}, \quad \frac{R}{R'}, \quad \frac{E}{E'}$$

doivent prendre dans la suite des opérations, une importance fondamentale.

Suivant la nature de la pièce, sa forme, son mode de travail, c'est tantôt la valeur $\frac{D}{D'}$ qui prédomine pour faire préférer un « matériau » (cas des charges dominantes), c'est tantôt la valeur $\frac{R}{R'}$ (cas des surcharges dominantes), c'est tantôt $\frac{E}{E'}$ quand ce sont les flambements ou les déformations qui prédominent.

La détermination des valeurs de ces rapports, en première approximation, entre : acier aluminium, ou acier magnésium (il s'agit d'alliages bien étudiés), nous procure une première surprise. Les trois rapports sont sensiblement de même ordre de grandeur pour l'un de nos métaux comparés à l'acier (soit à l'état fondu, soit à l'état forgé). Notons qu'il s'agit là, non d'une loi générale de la matière, mais d'une remarque particulière qui n'est peut-être pas sans posséder un sens philosophique profond.

On a, pour l'aluminium, comparé à l'acier :

$$\frac{D}{D'} = \frac{R}{R'} = \frac{E}{E'} = C_{Ae} = 2,7 = \frac{1}{0,37}$$

et pour le magnésium comparé à l'acier :

$$\frac{D}{D''} = \frac{R}{R''} = \frac{E}{E''} = C_{Mg} = 4\ 2 = \frac{1}{0,24}$$

ce qui correspond aux nombres suivants :

	D	R	E
Acier coulé	7,5	45-50	20.000
Aluminium coulé en coquille	2,8	16-18	7.500
Magnésium coulé	1,8	12	4.800
Acier forgé	7,5	100-110	20.000
Duralium	2,8	38-40	7.500
Magnésium laminé	1,8	25-30	4.800

A vrai dire, M. le colonel Grard a pu observer des éprouvettes de magnésium, possédant des résistances allant jusqu'à 30 kg : mm² de limite élastique

et 41 kg : mm² de rupture avec un allongement de 7 p. 100, ce qui correspondrait à des aciers à 170 kg : mm².

Nous ne tiendrons pas compte de cette constatation encore plus favorable aux métaux légers, *afin de bien faire ressortir* exclusivement le rôle favorable et fondamental du facteur « section » dans les diverses manières dont nous ferons travailler nos métaux. Nous nous contenterons de la simple relation :

$$\frac{D}{D'} = \frac{R}{R'} = \frac{E}{E'} = C^{te.} \qquad (1)$$

relation non rigoureuse dans ce cas particulier, mais que l'on peut faire exister par un choix judicieux des matériaux qui nous occupent et qui nous permet de raisonner en *ordre de grandeur*, ce qui est l'essentiel, et ce qui suffit.

Cas de la charge simple généralisée (à l'exclusion de la surcharge). — A ce point de vue et toujours étant supposée la relation (1), des organes identiques comme sections ou dimensions en deux métaux différents, sont rigoureusement équivalentes. Cela veut dire par exemple, qu'au point de vue statique, les limites du porte à faux ou des flambements, les flèches et déformations sous le propre poids de l'organe sont rigoureusement les mêmes à sections égales.

Il en est de même des déformations, puisque les flèches sont dans le rapport de la charge (c'est-à-dire de la densité) divisée par le coefficient d'élasticité (également dans le rapport des densités), rapports égaux si la relation (1) est satisfaite. Les flèches sont donc égales.

Cette observation, ce théorème pourrait-on dire, est bien général, et s'applique rigoureusement aux pièces en mouvement.

Reprenons l'exemple de deux rotors identiques; l'un en acier, l'autre en aluminium ou magnésium. Ils sont susceptibles de vitesses limites identiques. En effet, les efforts dus à la force centrifuge sont dans le rapport de $\frac{mV^2}{r}$ c'est-à-dire dans le rapport des densités. La rupture se produira lorsque les efforts unitaires atteindront la résistance R et R', qui sont, elles-mêmes, dans le rapport des densités.

Prenons encore deux pièces identiques ou deux ensembles identiques soumis à des chocs ou à une chute. La hauteur de chute qui provoquera la rupture ou la déformation sera la même, qu'il s'agisse d'acier, d'aluminium ou de magnésium. En effet, il s'agit là d'efforts dus à une énergie accumulée proportionnelle à la masse multipliée par la hauteur de chute. On voit que ces efforts sont proportionnels à la densité, tout comme la résistance et que par suite la hauteur de chute provoquant la rupture reste la même.

Mais une remarque importante s'impose, c'est que, pour la part où la charge seule intervient, il suffit, à *égalité de sécurité,* avec l'acier, d'organes en aluminium ou en magnésium qui pèseront environ 37 p. 100 ou 24 p. 100 de l'organe d'acier, puisqu'ils ont même section. Or, dans bien des cas, cette part de la charge propre est importante. C'est le cas par exemple, pour l'ensemble d'un avion à l'atterrissage, ou pour l'ensemble d'une voiture automobile aux réactions de la route, ou aux freinages, ou même aux collisions. Il suffit *pour cette part,* que l'ensemble soit constitué entièrement de métaux légers, pris à sections égales à celles de l'acier.

Nous allons voir que, même pour les surcharges seules, l'emploi des métaux légers est susceptible d'apporter d'importantes économies de poids, par rapport aux aciers, et s'élevant pour la flexion simple, par exemple, à 29 p. 100 pour l'aluminium et à 38 p. 100 pour le magnésium, avec une rigidité relative d'ensemble supérieure. Mais il nous faut encore insister sur un point, c'est que les organes en métal léger, tel que pont arrière, frein, roues, etc., s'il s'agit d'une automobile, largement suffisants pour le véhicule entièrement étudié en métal léger, à charge allégée, ne sauraient suffire si on les montait sur une voiture en métal lourd, qu'à condition de les dimensionner autrement. Le supplément des réactions dues à l'emploi du métal lourd pour le reste du véhicule agirait alors comme surcharge, par rapport à l'organe en métal léger.

C'est d'ailleurs une règle générale que nous constatons une fois de plus, à savoir : que l'ensemble étant constitué par la somme des détails, l'emploi des métaux légers dans un organe quelconque, ne procure la *totalité des avantages* qu'on peut atteindre qu'à la condition de reprendre l'étude totale de la machine sur les nouvelles bases.

Cas de la surcharge pure. — Là, les relativités entre métaux varient avec le mode de travail. Il nous faut envisager plusieurs cas.

Nous nous placerons toujours, et une fois pour toutes, dans l'hypothèse que la relation (1)

$$\frac{D}{D'} = \frac{R}{R'} = \frac{E}{E'} = C$$

est satisfaite.

Traction et compression simple sans flambement. — A poids égal, à la traction, ou compression, les métaux envisagés sont rigoureusement équivalents.

En effet, la relation de résistance :

$$\Omega R = \Omega' R'$$

ainsi que celle des déformations,

$$\frac{P}{\Omega E} = \frac{P}{\Omega' E'} \qquad \text{ou} \qquad \Omega E = \Omega' E'$$

(P étant la surcharge et Ω la section), implique en vertu de (1), la relation :

$$\Omega D = \Omega' D'.$$

Mais, dans le sens transversal, les deux barres, de sections différentes et de longueurs égales, présenteront des rigidités de résistances bien différentes, en faveur des métaux légers. Ces derniers présenteront, de ce fait, des qualités supplémentaires fort importantes, cela sera démontré plus loin, en ce qui concerne les flexions.

Auparavant, nous allons examiner le cas des :

Compressions avec flambement. — Dès que le flambement limite le taux de travail, les conditions deviennent beaucoup plus favorables à l'emploi des métaux légers.

En effet, les surcharges P qui limitent le flambement pour une longueur l sont respectivement de la forme :

$$P = W \frac{EI}{l^2} \qquad \text{et} \qquad P' = W \frac{E'I'}{l^2}$$

(W étant un coefficient variable suivant le mode d'encastrement), d'où la relation, en égalant les surcharges :

$$EI = E'I' \qquad \text{c'est-à-dire :} \qquad \frac{I'}{I} = C$$

d'après la relation (1).

Simplifions le problème, et pour ce, supposons simplement des sections semblables de rapport linéaire σ.

On aura :

$$\frac{I'}{I} = \frac{\Omega'^2}{\Omega^2} = \sigma^4 = C.$$

Les poids respectifs par unité de longueur des barres, seront :

$$\pi \text{ et } \pi'$$

tels que :

$$\pi = \Omega D \qquad \text{et} \qquad \pi' = \Omega' D'.$$

Le rapport des poids sera égal à :

$$\frac{\Omega D}{\Omega' D'} = C \sqrt{C} = \sqrt{C^3}$$

représentant un gain de poids de 77 p. 100 pour l'aluminium et de 88 p. 100 pour le magnésium pour une égale sécurité.

Par le même procédé des rapports en supposant même poids de barre, par unité de longueur, on constaterait, en faisant intervenir des hauteurs l et l' différentes, que la longueur libre limite, sans flambenent, sous une charge donnée, est telle que :

$$\frac{l'}{l} = \sqrt{C}$$

soit *1,6 fois* plus considérable pour l'aluminium que pour l'acier et *2 fois* plus considérable pour le magnésium.

Cela ne permet-il pas bien des simplifications d'assemblages de charpentes, ou à complication égale, bien des gains de poids.

Flexions. — Les moments fléchissants (2), les flèches (3), les moments résistants (4) de sections de deux poutres sont, respectivement, de la forme, la plus générale,

$$\begin{matrix} \alpha\, Pl \\ \alpha' P'l' \end{matrix} \quad (2) \qquad \begin{matrix} \beta \dfrac{Pl^3}{EI} \\ \beta \dfrac{P'l'^3}{E'I'} \end{matrix} \quad (3) \qquad \begin{matrix} \gamma \dfrac{I}{V} R \\ \gamma \dfrac{I'}{V'} R' \end{matrix} \quad (4)$$

V et V' étant les distances de la fibre neutre à la fibre la plus fatiguée.

α, β, γ sont des coefficients variables, avec le mode d'encastrement, la nature de la charge, la position de cette dernière, en porte à faux, ou entre appuis, le taux de sécurité, etc., de la façon la plus générale.

Pour simplifier nos conclusions, nous supposerons une fois pour toutes, que les sections comparées de deux poutres sont semblables dans le rapport linéaire σ.

De la sorte, on aura :

$$\frac{V'}{V} = \sigma \qquad \frac{\Omega'}{\Omega} = \sigma^2 \qquad \frac{I'}{I} = \sigma^4.$$

Notre méthode de calcul sera simple. Elle consistera à établir les rapports des mesures que nous voulons comparer. Bien entendu, nous supposons toujours valable l'équation (1)

$$\frac{D}{D'} = \frac{E}{E'} = \frac{R}{R'} = C.$$

1° *Quel est le rapport de charge suffisant à faire face à une même surcharge, sur une même portée?* Deux poutres calculées pour supporter la même surcharge, avec même portée, auront leurs poids dans le rapport :

$$\frac{\Omega' D'}{\Omega D}.$$

Ce rapport est égal à $\sqrt[3]{\frac{1}{C}}$ en vertu de l'égalité des deux valeurs de (4) ce qui se traduit par la condition :

$$\sigma^3 = \frac{R}{R'} = C.$$

Cela représente, par rapport à l'acier, une économie de poids de 29 p. 100 pour l'aluminium, 38 p. 100 pour le magnésium en surcharge pure.

De même, on trouverait, pour une même portée, qu'une poutre d'aluminium supportera une surcharge de 60 p. 100 supérieure à celle supportée par la poutre d'acier, de même poids, et que celle de magnésium supportera une surcharge de plus du double de celle de la poutre en acier de même poids.

2° On peut reprendre le même calcul à titre vérificatif *en ce qui concerne les déformations,* en égalant les deux valeurs de (3).

La condition devient : $\sigma^4 \geqslant C$,

toujours satisfaite, si la précédente : $\sigma^3 = C$ est satisfaite.

La poutre en acier est moins rigide que celle, plus légère, en métal léger.

3° *A poids égal et à section semblable,* quel accroissement de portée, l'emploi d'un métal léger peut-il procurer, pour une même surcharge? Aux conditions appropriées des formules (2), (3), (4), il faut ajouter la condition d'égalité de poids total du métal :

$$\Omega D l = \Omega' D' l';$$

les conditions de résistance donnent :

$$\frac{l'}{l} = \frac{\sigma^3}{C}$$

d'où :

$$\frac{l'}{l} = \sqrt[5]{C}$$

ce qui se traduit par un accroissement de portée de : 25 p. 100 pour l'aluminium, 33 p. 100 pour le magnésium.

Rigidités locales. — Par les mêmes procédés de calcul, en se basant sur les flèches occasionnées sur une tôle de revêtement d'une largeur indéterminée, pour un effort donné, on trouverait que la tôle en aluminium de 1,4 mm, celle de magnésium de 1,62 mm, ont autant de raideur propre que la tôle d'acier de 1 mm, ce qui correspond à une économie en poids, par rapport à l'acier, pour un revêtement ou une semelle de poutre de largeur donnée, de : 48 p. 100 pour l'aluminium, 61 p. 100 pour le magnésium.

Nous pourrions multiplier les exemples, mais cette étude de résistance de matériaux sortirait du cadre que nous nous sommes tracé.

Voici résumées ci-dessous, en un tableau, les conclusions de nos calculs.

Nous allons passer à l'exposé de quelques exemples qui illustreront la théorie.

Charpentes. — En ce qui concerne les charpentes, nous ne reviendrons pas sur ce que nous a si clairement exposé M. le Colonel Grard touchant l'avion métallique. Qu'il nous suffise de souligner, en passant, que l'emploi des matériaux légers et ultra-légers, constitue un changement total dans l'échelle possible des dimensions de construction et de charge utile des avions et que les considérations qui précèdent nous le prouvent. Il en serait de même pour les charpentes de ponts par exemple, à condition que ces métaux soient protégés d'une façon efficace et durable, contre les agents atmosphériques, au moyen d'un vernis ou enduit protecteur. Des portées inédites pourraient être réalisées, ce qui serait fort intéressant dans le cas de mauvais terrains où les fondations sont très coûteuses. Verrons-nous un jour, des ouvrages d'art en aluminium ou en magnésium? La bonne tenue des câbles de distribution électrique que nous a fait connaître M. Dusaugey et l'efficacité des modes de protection que nous a illustrés M. Guérin, peuvent nous le laisser espérer, au moins pour l'aluminium.

Applications mécaniques proprement dites. — La première application évidente est celle aux pièces massives de fonderie, qu'il y a intérêt à alléger, soit parce qu'elles sont destinées à être déplacées ou manipulées fréquemment, soit, ce qui revient au même, parce qu'elles doivent être placées sur des engins mobiles, où tout excédent de poids constitue un poids mort.

Toute diminution de poids constitue au contraire, soit un gain de « poids utile », soit un gain de maniabilité.

C'est, bien entendu, d'abord en aviation, que ces applications se sont imposées le premier jour, sur l'échelle la plus vaste.

Il nous suffira de rappeler que dans les moteurs d'aviation Hispano-Suisse qui ont tant contribué à nous assurer la supériorité aérienne pendant la guerre, non seulement le carter était en aluminium, mais même la culasse des cylindres, avec leur circulation d'eau; il n'y avait qu'un simple chemisage mince intérieur en acier.

Ces pièces, dont vous verrez une coupe complète à l'exposition de M. Montupet, et dont la réalisation constitue un véritable tour de force de mise au point technique, en raison de la porosité naturelle de l'aluminium, sont d'autant plus intéressantes pour l'avenir qu'elles ont pu donner lieu tou-

jours de la part de M. Montupet, à l'organisation et à la réorganisation dans des circonstances particulièrement difficiles et dramatiques, de fabrications en séries énormes, ce qui constituait, aux yeux des professionnels, une série de tours de force encore bien plus remarquables. Tous ceux qui ont réussi à exécuter de ces pièces après lui, pourront en témoigner.

AVANTAGES DES MÉTAUX LÉGERS ET ULTRA-LÉGERS COMPARÉS A L'ACIER (1)

	Acier.	Aluminium.	Magnésium.
I. — Tous organes travaillant *exclusivement en charge* statique ou cinématique (2) (surcharge supposée négligeable).			
Poids de l'organe	1	0,37	0,24
II. — Poutres de *même portée* supportant la *même surcharge*.			
Poids des poutres	1	0,72	0,62
Flèches	1	0,72	0,62
III. — Poutres de *même poids* et *même portée*.			
Surcharge maxima	1	1,64	2,05
IV. — Poutres de *même poids total* sous *même surcharge*.			
Portée limite	1	1,21	1,33
V. — Poutres de *même portée* et *même flexibilité*, *sous charge et sans surcharge*.			
Poids de la poutre	1	0,37	0,24
VI. — Tôles de revêtements, de surfaces indéfinies, à même flèche, c'est-à-dire à *même rigidité ou flexibilité locale*, à surfaces égales.			
Épaisseur de la tôle	1	1,39	1,62
Poids de la tôle	1	0,52	0,39
VII. — Flambement, sous *même surcharge*, des barres de *même poids*, par unité de longueur.			
Hauteur limite de flambement	1	1,64	2,05
VIII. — Tous organes ou ensembles travaillant *partie en charge* (statique ou cinématique), *partie en surcharge* (combinaisons de I et II ou de V et II) (3).			
Poids de l'organe ou de l'ensemble	1	0,37 à 0,72	0,24 à 0,62
		Suivant la répartition entre charge et surcharge.	

(1) Dans les chiffres suivants, on a supposé la *similitude* des sections et la relation de correspondance (1) satisfaite.

(2) *Exemples* : Pièces en mouvement alternatif rapide, rotors à grande vitesse. Ensembles soumis à des chocs ou des vibrations, ou des cahots, arrêts et freinages brusques.

(3) *Exemples* : Charpentes à grande portée, carcasses et charpentes d'avions, châssis automobiles.

C'est l'énumération des bâtis, supports, pivots, corps d'appareils, groupes électrogènes, ventilateurs, projecteurs montés sur chariots, remorques ou automobiles, etc., qu'il faudrait faire.

L'aluminium fondu a fait, dans ce domaine, l'objet de multiples applications mécaniques d'un haut intérêt pratique. L'aluminium a rendu ainsi possible, la mobilité sur route, d'appareils puissants, autrefois rivés au sol par leur poids.

A une échelle plus vaste encore, en grosse mécanique, l'aluminium ne

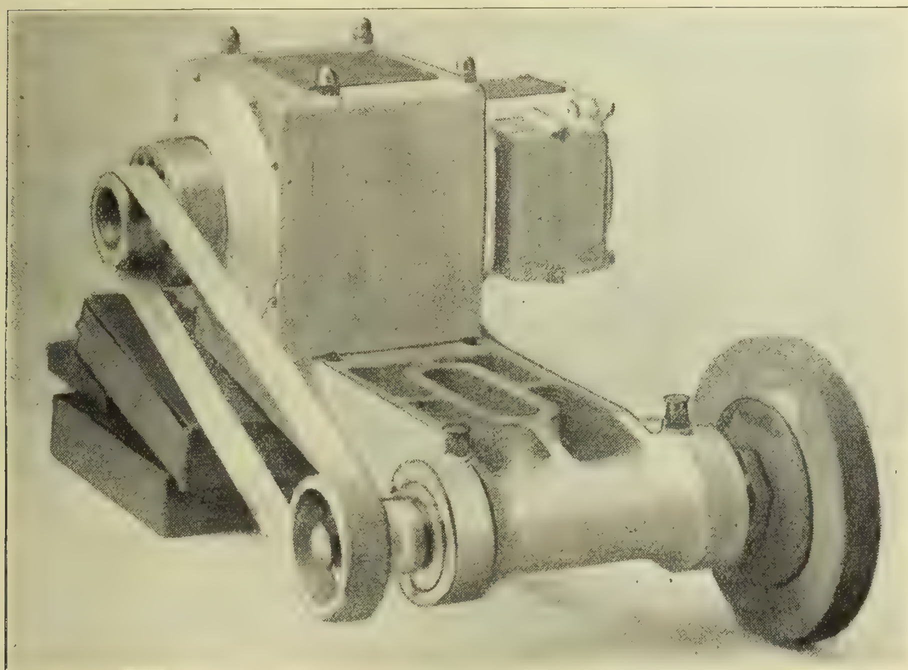


Fig. 1. — Rectifieuse portative électrique Volet (en aluminium).

fait que commencer à être employé. Même à l'air marin, sur les navires, enduit d'une couche protectrice, il est susceptible d'être utilisé. Pour les sous-marins en particulier l'accroissement du tonnage doit jouer un rôle presque aussi important que pour les avions.

A échelle plus modeste, dans le même ordre d'esprit, ce sont les outils portatifs, tels que les appareils photographiques, jumelles à main, perceuses électriques rectifieuses. A titre d'exemple, la rectifieuse portative électrique Volet (fig. 1), dont tout le gros œuvre est en aluminium, et les perceuses portatives Van der Windt.

Il faut remarquer qu'avant l'emploi de l'aluminium, on n'obtenait la légèreté qu'aux dépens des qualités et aspects mécaniques des organes. Ces

derniers étaient évidés, allégés, de telle sorte que les outils ne pouvaient avoir aucune puissance, ou étaient d'une construction précaire et peu robuste. L'aluminium permet à la fois une conception entièrement mécanique des organes, rendus rigides, robustes, ne réalisant le gain de poids que par la seule densité du métal.

Une deuxième application générale, c'est celle des métaux légers aux organes ou pièces en mouvement. On peut envisager l'application aux chariots renvideurs de filature, aux chariots de va-et-vient des machines-outils. Là encore, peu de chose a été fait en grosse mécanique, proprement dite, au point de vue application de quelque étendue, sauf en ce qui concerne les rotors (fig. 2 et 3).

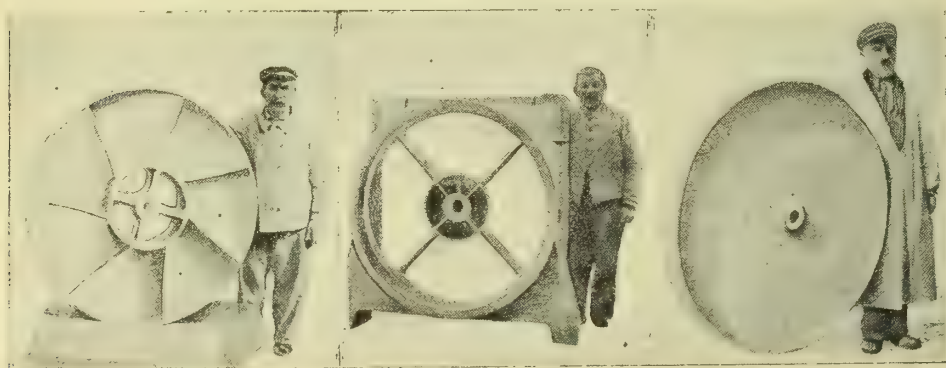


Fig. 2. — Rotor de ventilateur en aluminium, poids : 50 kg. Fig. 3. — Palier de ventilateur en aluminium, poids : 196 kg. Fig. 4. — Poulie de scie à ruban en aluminium, poids : 65 kg.

La Société Marqcol, à Moulins-sur-Allier, utilise sur ses scies à bois, à ruban à grand rendement, des poulies porte-lame supérieures (fig 4), à voile plein en aluminium. L'emploi de l'aluminium lui a permis :

1° de réaliser, à la fois, la légèreté et la rigidité nécessaires à ces poulies ; légèreté rendue indispensable pour éviter à la scie les réactions d'inertie d'une poulie sur l'autre, dans les à-coups de la marche ;

2° de supprimer les bras, qui, aux grandes vitesses, forment ventilateur ;

3° de n'avoir aucun organe d'assemblage, tels que : boulons et rivets comme cela se présente dans les poulies construites en tôles embouties.

En moyenne et petite mécanique, l'emploi des métaux légers tend à se développer pour les pièces en mouvement. Mais la « doctrine » n'est pas encore généralisée comme elle devrait l'être. Cela viendra quand l'enseignement professionnel aura rendu pour ainsi dire, classique cet emploi rationnel des métaux légers et, surtout, que les bureaux d'études seront amenés, par raison d'économie à concevoir leurs machines en conséquence.

En petite mécanique, en particulier, les organes sont toujours plus que suffisants, d'après le calcul, pour résister aux efforts normaux. Mais les blocages, par les corps étrangers, par les poussières, les nécessités du montage et démontage, les arrêts brusques accidentels provoquent des efforts qui dépassent toute limite, en regard des efforts normaux. Il y a donc nécessité de renforcer certains organes importants, qu'il y a lieu de ne pas voir casser ou fléchir. Mais alors, on les alourdit et leur vitesse de fonctionnement est limitée à l'inertie compatible avec le non-martellement des cames et le non-matage des clavetages.

L'emploi des métaux légers donne une extrême facilité pour résoudre de façon très générale la difficulté, en raison de la faible inertie des pièces. Bref, on a des pièces qui, tout en restant légères, *possèdent de la section.* Ce peuvent être des biellettes, des leviers, des chariots, des poulies à changement de sens de marche ou d'embrayage.

D'un point de vue purement économique, la concurrence, que ce soit pour les moteurs à explosion, les moteurs électriques, les machines-outils, etc., a amené progressivement tous les constructeurs à adopter les régimes les plus élevés compatibles, avec le bon usage des machines. Les obstacles qui limitent les possibilités sont, là encore, les jeux, les matages, les bruits provoqués par les balourds, par les inerties et chocs des pièces en mouvement et par suite, l'usure rapide de la machine.

Une machine dont la conception et les régimes seront basés, et j'insiste sur ce point, sur l'emploi des métaux légers et ultra-légers, verra sa productivité accrue dans une large proportion.

Messieurs, l'artillerie ne sort pas du domaine de la mécanique.

Il me souvient, touchant les emplois de l'aluminium à ce sujet, d'avoir, au début de la guerre de 1914, été frappé du double illogisme suivant : d'abord, l'emploi par les Allemands, pour leurs fusées, de l'aluminium dont ils ne possédaient pas de minerais; ensuite le non-emploi par nous de ce métal dont la France possédait des minerais et des usines productrices inutilisées à ce moment, et l'absurde emploi du cuivre importé.

Les douilles elles-mêmes ne pourraient-elles être en aluminium au même titre que les casseroles. L'intérêt national ne le commanderait-il pas au même titre que pour les lignes électriques?

Emploi dans le moteur d'automobile. — Les meilleurs exemples et les plus généralisés des emplois rationnels des métaux légers sont à prendre dans cette industrie. La consommation d'essence et de pneus est, en effet, assez directement fonction du poids du véhicule. Il y a également intérêt, en raison des démontages et nettoyages des mécanismes, à avoir des pièces

maniables. On a donc cherché autant que possible, à alléger tous ces organes. Il y a longtemps que les carters de moteurs sont en aluminium. L'usinage de l'aluminium étant beaucoup plus rapide et économique que celui de la fonte, l'accroissement du prix de la matière s'est trouvé compensé et l'emploi de l'aluminium s'est vite généralisé pour les carters.

Ce n'est que bien plus tard, quand on a voulu accroître les vitesses de régime des moteurs, pour diminuer le prix de revient et le poids de ces derniers, et obtenir des régimes représentant des avantages particuliers qu'on songea aux pièces en mouvement. La première envisagée pour le moteur, fut le *piston.*

Pistons d'aluminium. — La première maison d'automobiles qui adopta le piston d'aluminium pour ses séries, fut, à notre connaissance, la maison Chenard et Walckner. Le monde automobile, en France, resta sur la réserve. Il fallut l'emploi généralisé de ces pistons, dans les moteurs d'aviation, pendant la guerre, pour montrer la supériorité qu'ils présentaient. Actuellement, les constructeurs américains les ont adoptés pour leurs voitures. En France, l'emploi de ces pistons se généralise lentement mais sûrement.

Un piston constitué en alliage suffisamment dur, *et ce point est important,* et dont les portées sont convenablement dimensionnées, ne se mate pas. L'axe du pied de bielle tourillonne directement, sur l'arbre, sans usure, pourvu que l'axe du pied de bielle, creux au besoin, soit en acier cémenté trempé, et que la pression de contact ne dépasse pas 1.500 kg : mm^2, aux faibles vitesses relatives de ces organes. Un piston, convenablement armé pour ne pas « s'ovaliser » à chaud par suite des dilatations, n'a besoin que d'un jeu réduit. Dans ces conditions, il ne « claque » pas sensiblement à froid.

Un piston allégé en acier mince, ne joue pas le même rôle qu'un piston d'aluminium, la « section » de passage de la chaleur dans le fond et la conductibilité étant très supérieures pour l'aluminium à poids égal.

Le piston d'aluminium supportera de ce fait, un régime de marche plus chaud, c'est-à-dire, à sécurité égale de fonctionnement, plus de latitude de surcompression, correspondant à de meilleurs rendements thermodynamiques du moteur. C'est même là le principal avantage du piston d'aluminium, si on le substitue seulement à des pistons en fonte, existant, sans accroître les régimes de vitesses.

Pour les avions, en particulier, une forte surcompression au sol a permis la réalisation du moteur de puissance plus grande aux hautes altitudes.

Le piston magnésium lui-même vient de faire ses preuves et de fournir

chez un de nos principaux constructeurs, l'obtention de vitesses de régimes inédites, sur un moteur monocylindrique et ce, sans vibrations exagérées.

PISTONS D'ALUMINIUM

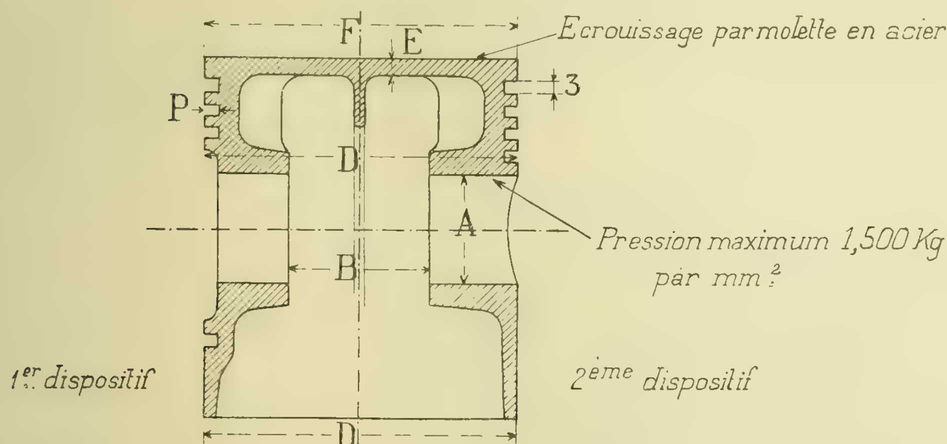


Tableau des jeux à prévoir pour la dilatation des pistons d'aluminium.

CYLINDRE	F	D	A MIN.	B MAX.	E	P
60	59,7	59,90	18	29	3	3
65	64,65	64,875	20	32	3,5	3,5
70	69,6	69,85	20	34	4	3,5
75	74,55	74,825	22	37	4,5	4
80	79,5	79,80	24	39	5	4
85	84,45	84,775	25	42	5,5	4,5
90	89,4	89,75	26	44	6	4,5
95	94,35	94,725	28	47	6,5	5
100	99,3	99,70	30	49	7	5

Bielles. — Des applications très encourageantes et de longue durée ont été réussies en pièces coulées, avec des alliages, un peu particuliers.

C'est encore un organe où c'est la section qui joue le rôle fondamental.

L'emploi s'imposera vraisemblablement dans les moteurs spécialement étudiés pour les grandes vitesses.

Le plein avantage d'ailleurs, ne sera réalisé que le jour où un constructeur concevra un moteur et des régimes en vue de l'emploi des métaux légers ou ultra-légers pour ces pièces.

Voici, résumés en un tableau, les éléments comparatifs de 3 bielles pour un même moteur, en acier, une autre en aluminium, une troisième en magnésium.

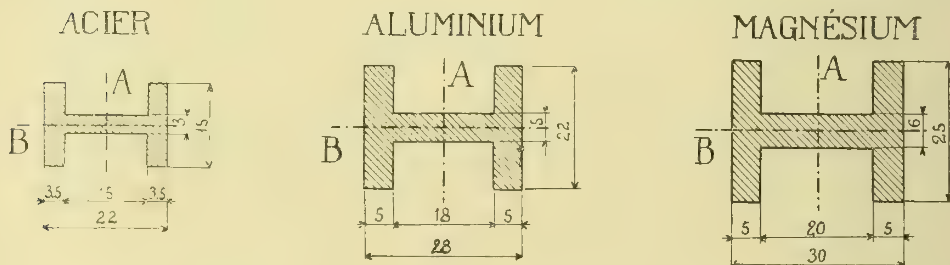
Calcul comparatif de la bielle en *acier* et des bielles en *aluminium* et en *magnésium* qui lui sont substituées.

Données. Alésage du cylindre : D = 86 mm. Taux de compression : 4,9.

Pression par cm² au moment de l'explosion : $p = 24{,}500$ kg.

Pression maximum totale : $\frac{24{,}5 \times \pi D^2}{4} = 1.425$ kg environ.

Longueur commune aux trois bielles : L = 280 mm. $c = \frac{L}{2} = 140$ mm.



SECTIONS SCHÉMATIQUES AU MILIEU DE LA LONGUEUR

Moments d'inertie des sections.	Acier.	Aluminium.	Magnésium.
$I_A = \frac{1}{12}\left[bh^3 - b_1h_1^3\right]$	10.000	31.800	43.500
$I_B = \frac{1}{12}[(h - h_1)b^3 + h_1(b - b_1)^3]$	2.000	9.000	13.330
Moment d'inertie minimum pour la résistance au flambage : $I_m = \frac{D^2c^2p}{100E}$ (1)	1.775	5.460	7.890
Coefficient d'élasticité E	20.000	6.500	4.500
Surface de la section en millimètres carrés	150	310	370
Densité du métal	7,6	3	1,8
Surface × densité	1.140	930	665
Taux de travail par millimètre carré sous la pression maximum à la compression	9,500 kg	4,600 kg	3,850 kg

Il faut noter que le tableau ci-dessus ne présente que le rapport des poids par unité de longueur de corps de bielle, et que le gain total de poids est bien plus considérable du fait de l'allègement des masses des têtes et pieds de bielles.

Le principal avantage de la bielle légère, résulte de la moindre énergie absorbée par frottement sur le vilebrequin. Les effets centrifuges sont en

(1) Le facteur π est supprimé pour augmenter la sécurité.

effet très amoindris. Cette part d'énergie absorbée est plus considérable qu'on ne croit.

On verra que l'essentiel, rarement réalisable sur un moteur existant, est de pouvoir donner un moment d'inertie suffisant à la section en raison des faibles coefficients d'élasticité des métaux légers.

L'équipement bielle-piston en aluminium pèse 1,400 kg, alors que le même en fonte et acier pèse 2,100 kg.

La bielle en magnésium, régulée et munie de ses boulons, qui figure à l'Exposition de la Semaine de l'Aluminium, pèse 480 g, au lieu de 630 en aluminium, soit un gain de poids de 150 g.

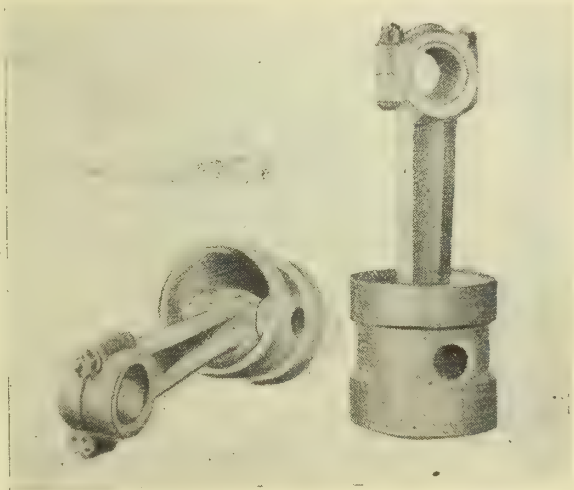


Fig. 7. — Assemblage de pistons et bielles d'aluminium.

Coussinets d'aluminium. — Nous n'insisterions pas davantage sur ces expériences de bielles, si quelques données intéressantes ne découlaient des observations auxquelles elles ont donné lieu.

Il s'agit de l'emploi des alliages d'aluminium comme antifriction.

Dans un but d'allègement de la bielle, certaines séries d'essais ont porté sur des bielles frottant directement sur le vilebrequin sans interposition de coussinets.

Nous avons constaté que, pourvu que la pression ne dépasse pas un certain taux, en relation avec la vitesse, il semble qu'il y ait nettement, rayure et usure de l'acier ordinaire, par rapport à l'aluminium.

Les aciers cémentés, trempés, donnent au contraire, des surfaces de contact d'un poli extraordinaire, et l'usure est négligeable.

Quand la pression relative de l'acier, par rapport à l'aluminium est exagérée, il semble y avoir au contraire usure de l'aluminium par rapport aux aciers, par suite des pressions unitaires exagérées, par matage et désagrégation de la surface du métal léger.

Ceci constitue un ensemble de directives pour les constructeurs qui voudraient employer des pièces d'aluminium. Ils auraient à les dimensionner spécialement.

D'ailleurs, de nouveaux alliages antifrictions à base d'aluminium et le graphite sont mis à l'étude par M. Guillet.

Emploi dans le véhicule automobile. — Le problème qui domine l'entretien et le bon usage des voitures, est celui de la suspension.

On sait que, toutes choses égales d'ailleurs, les effets des inégalités de la route sur un véhicule sont d'autant plus atténués que le rapport des masses non suspendues, aux masses suspendues est plus faible. Nous appellerons ce rapport $\frac{m}{M}$.

C'est la difficulté d'obtenir une valeur convenable de ce rapport dans les voitures légères qui constitue la cause essentielle des défectuosités d'adhérence, de suspension, d'entretien de ces véhicules.

La même difficulté se présente identique dans les camions à grande capacité de tonnage kilométrique (grandes charges à grandes vitesses), c'est-à-dire dans les seuls camions de transport aptes à un amortissement rapide et à un usage réellement économique.

En effet, qui dit grandes charges, dit organes et essieux solides, relativement lourds. Le rapport $\frac{m}{M}$ est mauvais à vide avec les procédés usuels de construction. Les chocs et vibrations de tels camions ont vite fait d'user les mécanismes, si le constructeur ne modère pas la vitesse, surtout à vide.

Les considérations de résistance des matériaux exposés au début, montrent quels perfectionnements, les emplois rationnels des métaux légers et ultra-légers peuvent apporter dans la construction des ponts arrière, mâchoires de frein, carters de différentiel et même les roues.

Les avantages sont d'autant plus marqués qu'une fraction des efforts est constituée par les réactions des pièces sur elles-mêmes, c'est-à-dire des charges, suivant la *notion généralisée des charges et surcharges* que nous avons exposée.

Un kilo gagné est aussi efficace, pour la tenue sur la route, qu'un lestage de 5 kg.

Le magnésium donnera à son tour, dans cette voie, des possibilités insoupçonnées.

Carrosserie. — Plus on pourra alléger les masses non suspendues, plus on pourra également alléger les châssis et les carrosseries.

Cette possibilité est intéressante au premier chef.

Elle est susceptible de résoudre dans une large mesure, la question des dépenses exagérées qu'occasionnent les voitures.

La notion de *rigidité locale* intervient d'ailleurs, dans la conception de la carrosserie en particulier.

Il est évident qu'on ne peut guère, dans la voie de l'emploi des tôles agrafées sur des montants ou cadres, descendre en dessous des épaisseurs déjà bien faibles qu'on y emploie avec l'acier.

C'est là, que le moindre choc, le « coup de pouce », suffirait à enfoncer la paroi.

Ce n'est plus la résistance globale assurée par les cadres, qui intervient. C'est la rigidité locale seule, c'est-à-dire, même déformabilité, sous même effort local.

Or, nous avons constaté au début qu'à ce point de vue, équivalent à une tôle d'acier de 1 mm, une tôle d'aluminium de 1,3 mm, procurant une économie de poids de 48 p. 100 et une épaisseur de magnésium de 1,6 mm, procurant une économie de poids de 61 p. 100.

Cela veut dire qu'il est possible, à la limite, de réaliser avec les métaux légers, des revêtements de carrosserie aussi rigides que ceux existants, mais pesant la moitié et même le tiers des revêtements des carrosseries actuelles. La Compagnie des transports en commun fait déjà les revêtements des autobus en aluminium.

Cette marge colossale permet, comme l'a fait M. Montupet, en collaboration avec les carrossiers Ansart et Audinot, de prendre le problème sous une forme encore plus générale. C'est celle qui consiste à prendre le problème d'ensemble de la carrosserie, de façon à supprimer les encadrements et les équerrages; bref, de remplacer tout le travail de carrosserie, proprement dit, par du travail de machines-outils en partant d'éléments venus de fonderie, portant directement leurs faces d'assemblage, leurs pattes d'attache, etc.

Un autre avantage de cette réalisation, que chacun a pu voir, sur la voiture exposée par les soins de M. Montupet, c'est la rigidité des portes et de leurs encadrements et la rigidité de l'ensemble qui concentre sur toute la masse les accélérations dues aux inégalités de la route et empêche la propagation d'ondes de déformation, qui sont des ondes de dislocation.

Ces dernières, lorsqu'elles se produisent sur l'ensemble non rigide concentrent toute l'énergie cinétique sur les points extrêmes de faible masse, comme cela se passe sur la mèche d'un fouet, et disloquent l'ensemble de proche en proche.

L'avenir. — Il est imprudent de faire des pronostics mais on peut examiner les voies ouvertes. L'emploi rationnel des métaux légers et ultralégers aura pour effet :

1° Un accroissement considérable de l'échelle, c'est-à-dire de l'ordre de grandeur, en quelque sorte des constructions, par rapport aux possibilités données par les métaux lourds.

Tels seront les avions géants.

2° D'accroître les échelles de vitesses de régime et de rendement de nombreuses machines.

3° Dans le cas particulier de l'automobile, de diminuer considérablement la consommation et le poids des autos, à confort égal.

Bien entendu, ces résultats ne seront atteints que si un véhicule, tout entier, et jusque dans le détail, est conçu rationnellement, en vue de la poursuite des avantages que nous venons d'énumérer, obtenus par le moyen des métaux légers.

La notion généralisée des charges et surcharges nous permet de prévoir l'ordre de grandeur des résultats possibles, pour un véhicule particulier, comparé au véhicule d'acier correspondant.

	Acier.	Aluminium.	Magnésium.
Charge { fraction affectée à supporter la charge. .	200 kg	74 kg	48 kg
Charge { — — surcharge.	200 —	144 —	124 —
Surcharges organiques	150 —	150 —	150 —
Poids du véhicule à vide	550 —	368 —	322 —
Surcharges utiles	250 —	250 —	250 —
Poids du véhicule chargé en ordre de marche. . .	800 —	618 —	572 —

Les véhicules en métaux légers, outre une rigidité plus grande, seraient infiniment meilleurs comme suspension et d'une meilleure adhérence sur mauvaise route.

En effet, le rapport entre les masses non suspendues et les masses suspendues est bien moindre dans le cas des métaux légers que dans le cas de l'acier. Un moteur plus faible suffirait, à confort égal, à assurer des vitesses commerciales égales.

Il y a de plus, égalité de confort en place disponible entre les deux véhicules. Nous demanderons à notre organisateur national des épreuves d'automobiles, M. Faroux, d'étendre en faveur de l'emploi des métaux légers, si nécessaires en temps de guerre, les limites des règlements, de façon à permettre à ces nouvelle formules de prendre jour.

Le magnésium. — Il nous reste à dire un mot du magnésium, dont nous avons parlé comme d'un métal usuel et d'un débouché assuré en industrie mécanique.

Le carter en magnésium, fondu pour la maison Bréguet, par la Compagnie parisienne de Fonderie, avec du métal de la Société de l'Electro-Chimie, que vous avez pu voir à l'Exposition ici même, constitue un résultat inédit.

Ce carter supérieur pour moteur d'avion Bugatti-Bréguet de 500 ch, ne pèse que 45 kg, ce qui procure une économie de poids de 25 kg, par rapport à l'aluminium, pour cette seule pièce.

Il ne constitue pas d'ailleurs, une pièce isolée.

A ce propos, je tiens à rappeler les travaux de M. Roy, de la Compagnie parisienne de Fonderie, dont la collaboration étroite nous fut précieuse, pour

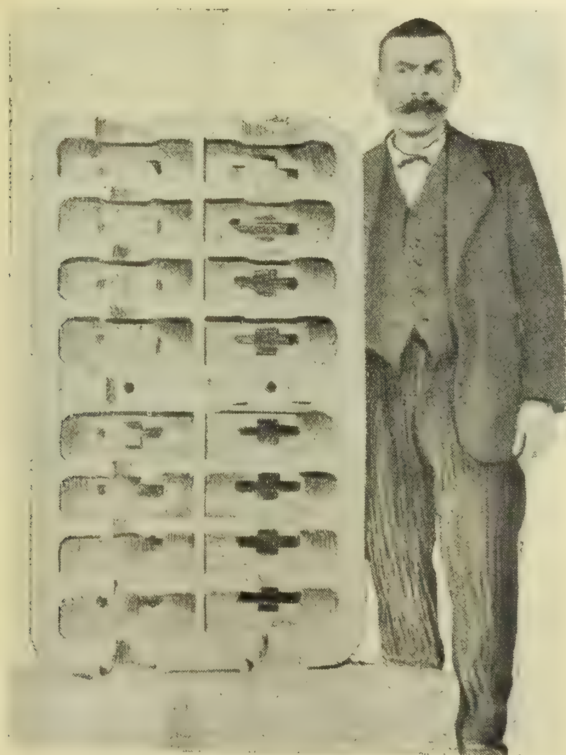


Fig. 8. — Carter en magnésium pour moteur d'avion Bugatti-Bréguet de 500 ch.

l'exécution de ces pièces, en ce qui concerne la mise au point des alliages de fonderie de magnésium.

Les essais et réalisations que nous poursuivons depuis 1918 nous donnent l'assurance de l'avenir du magnésium.

A titre historique, il faut noter que M. le Colonel Grard, également en 1918, avec M. Portevin, avait entrepris l'étude de ces alliages, les premiers en France. M. Flusin nous a exposé le rôle tout particulier de la Société de l'Électro-Chimie, en ce qui concerne la fabrication même du magnésium pur en France, dès 1915, pour les applications pyrotechniques.

En Allemagne, les débouchés importants du magnésium, pièces de fonderie

et profilés divers sont courants, en alliages connus sous le nom de métal *elektron*.

Le métal a fait ses preuves et il est très facile à protéger de l'oxydation, par des vernis ou des peintures; simplement huilé, il est également inaltérable.

Bref, le magnésium s'avère comme un métal possédant des qualités mécaniques, non seulement rendues remarquables par sa faible densité, mais parce qu'elles sont réellement remarquables, des résistances de 30 à 40 kg étant possibles à réaliser avec les tôles.

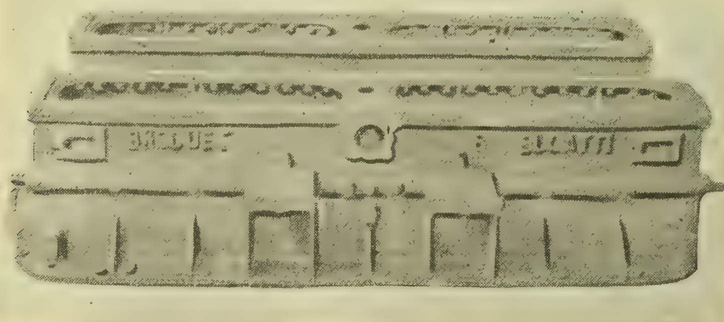


Fig. 9. — Carter en magnésium pour moteur d'avion Bugatti-Bréguet de 500 ch.

Il est à prévoir que ce métal jouera un rôle effectif considérable dans la mécanique de demain.

L'exposition des pièces de magnésium, réalisées par la Société de l'Électro-Chimie, sous l'infatigable initiative de son administrateur, M. Gall, marquera donc la date d'une ère industrielle nouvelle dans l'histoire de la métallurgie et de la mécanique françaises.

Enfin, quitte à être taxé de répétition, avant de nous quitter, je tiens encore à revenir une fois de plus sur les deux points fondamentaux des emplois rationnels des métaux légers, ceux qui constituent les bases essentielles des avantages qu'ils présentent par rapport aux autres; c'est le *rôle propre de la section* d'une part; c'est, d'autre part, la *notion généralisée des charges et surcharges* sur laquelle la méditation sera féconde en résultats et assurera à bref délai, aux métaux légers et ultra-légers, la place fondamentale qu'ils doivent avoir dans la mécanique de demain.

R. DE FLEURY,
Ingénieur des Arts et Manufactures.

LES EMPLOIS DE L'ALUMINIUM DANS L'APPAREILLAGE ÉLECTRIQUE (1)

PAR

M. C. Zetter

Ingénieur des Arts et Manufactures, membre du Conseil.

Il n'est plus besoin aujourd'hui de faire l'éloge de l'aluminium. Si son emploi suscite encore parfois quelque doute pour certains cas particuliers, il a néanmoins pris une place très importante parmi les métaux usuels; il n'a plus maintenant de détracteurs et ne se heurte plus à la méfiance qui accueille toujours les nouveaux venus. Il est entré dans les mœurs et fait partie de l'arsenal industriel depuis qu'il a montré ce que l'on pouvait attendre de lui, au cours de l'époque si troublée que nous venons de traverser.

La fabrication des munitions a consommé tant de fer et de cuivre qu'une raréfaction de ces métaux s'en est suivie, provoquant de si vives difficultés d'approvisionnement que l'on a été conduit à leur chercher des remplaçants. Parmi ceux-ci, l'aluminium s'imposa d'autant plus naturellement que ses qualités de légèreté le rendaient particulièrement apte à la fabrication du matériel d'aviation dont la construction fut si intense. D'autre part, ce métal, extrait des bauxites du Var et de l'Hérault, était pour ainsi dire à pied d'œuvre de l'industrie française, sans être tributaire de la main-d'œuvre étrangère; c'était réellement un produit national, considération qui, jointe à ses qualités propres, finit par vaincre tous les préjugés. On trouva rapidement à l'aluminium de multiples applications, on s'habitua à le voir et à le travailler; bref, il devint sympathique et, au lieu de l'admettre comme un pis-aller, on lui donna de plus en plus une préférence justifiée.

Pour mettre en lumière les applications de l'aluminium à l'appareillage électrique, il a semblé nécessaire de montrer sous quelles formes ce métal peut être utilisé dans les diverses branches de cette industrie.

L'aluminium étant mis en œuvre dans les trois sortes d'emploi courant :

(1) Conférence faite par M. C. Zetter en séance publique, le 23 mai 1921. Cette conférence a été préparée avec la collaboration de M. Chalicarne, ingénieur à l'Appareillage électrique Grivolas.

Fonderie, sous forme de lingots;

Découpage et emboutissage, sous forme de planches;

Décolletage, sous forme de barreaux.

Il y a lieu de décrire d'abord chacun de ces procédés; puis, un certain nombre d'exemples d'applications courantes montreront l'importance qu'a déjà prise l'aluminium ou ses alliages, dans certaines branches de l'industrie électrique.

Fonderie.

On emploie dans les applications électriques une quantité de pièces moulées, plus lourdes que ne l'exigerait le travail qu'elles effectuent, mais dont on ne saurait réduire les épaisseurs sans en compromettre l'exécution pratique. Ces mêmes pièces en aluminium sont beaucoup plus légères tout en conservant une solidité suffisante.

Tout d'abord il faut préciser que c'est par simplification du langage qu'il est toujours parlé d'aluminium fondu; en réalité, on emploie rarement en fonderie le métal pur, dont le retrait occasionnerait trop souvent des craquelures et même des ruptures de pièces. On se sert généralement d'un alliage à 7 ou 8 p. 100 de cuivre environ. La présence de celui-ci augmente beaucoup la solidité des pièces, améliore leur aspect et facilite la coulée en rendant l'alliage plus fluide, lui permettant ainsi d'épouser les plus petits détails du moule. Parfois on ajoute de l'étain à l'alliage, pour favoriser encore l'opération et rendre les pièces plus malléables.

La constitution de l'alliage a d'ailleurs une influence capitale sur ses propriétés; et la présence de métaux judicieusement choisis permet de donner pour chaque pièce, suivant sa destination, la prédominance à la résistance, à l'allongement, à la dureté, à la densité.

C'est ainsi que, d'après MM. Chaix et Cie à Saint-Priest (Isère), on obtient des alliages d'aluminium présentant des caractéristiques différentes.

Désignation des alliages d'aluminium.	Résistances (en kg : mm²). Minima.	Maxima.	Moyennes.	Allongement p. 100.	Dureté en nombre de Brinell.	Densité.
PRC	8,00	12,40	10,20	7	36,3	2,41
PRS	6,81	9,44	8,10	11	27,6	2,54
BAB1C	12,60	14,10	13,35	6	37,3	2,68
BAB1S	10,21	11,90	11,05	6,5	36,6	2,68
BAB2C	13,72	14,70	14,20	5	43,5	2,74
BAB2S	10,87	13,00	11,95	5,5	38,4	2,75
BAB3C	13,00	16,30	14,65	2	48,0	2,78
BAB3S	11,52	15,08	13.30	4	44,4	2,78
BAB4C	13,04	20,90	16,95	1	61,5	2,87
BAB4S	11,40	18,60	15,00	1,5	53,4	2,92

La fusion de l'alliage, quel qu'il soit, n'est pas sans difficulté, car l'oxydation est presque inévitable et l'alumine ainsi produite provoquerait des soufflures dans la masse s'il n'était pris certaines précautions suggérées par l'expérience et variables suivant les cas.

L'alliage étant déterminé et choisi de façon à concilier le maximum de conditions utiles, on lui donne la forme requise en le coulant dans des moulages. Généralement ceux-ci se font de deux façons, soit au sable, soit en coquille.

S'il est besoin de peu de pièces du même modèle, les moules sont faits en *sable*, tout comme pour la fonte de fer, le bronze ou le laiton. On coule « à vert » c'est-à-dire sans que ces moules soient séchés à l'étuve, en ayant soin de faire venir une forte masselotte de façon à bien peser sur les parois du moule pour en évacuer l'air, dont la sortie est moins favorisée qu'avec un métal dense, comme la fonte de fer.

Le moulage au sable présente pour l'aluminium les mêmes imperfections que pour les autres métaux, c'est-à-dire que la précision n'en est pas absolue et que l'on doit toujours usiner les faces qui, par la suite, doivent se présenter en contact avec d'autres. En conséquence, il est nécessaire de faire venir au moulage des surépaisseurs pour pouvoir les enlever et produire ainsi des parties planes pour l'ajustage. Cependant, pour l'aluminium, les opérations de tour, rabotage ou fraisage sont, en général, plus rapides qu'avec la fonte de fer, par exemple.

Mais, où l'aluminium s'impose réellement en fonderie, c'est dans le cas de nombreuses pièces de même forme, ce qui se rencontre fréquemment en appareillage électrique où l'on emploie une quantité d'organes de manœuvre, de support ou d'assemblage fabriqués par grande série. Dans ce cas, la température de fusion, relativement basse, de l'alliage permet de couler en moules métalliques, appelés couramment moules *en coquille*.

L'opération se réduit à une simple coulée, précédée et suivie de la fermeture et de l'ouverture du moule, construit une fois pour toutes, généralement en fonte de fer, et auquel on peut donner des dimensions rigoureuses et des surfaces intérieures parfaitement lisses.

Indépendamment de leur adaptation aux procédés habituels de fonderie, les coquilles doivent être mûrement étudiées, et conçues spécialement en vue de leur facilité de manipulation et de démoulage. Cette question est primordiale et doit dominer toute considération relative au prix d'établissement du moule lui-même.

Par suite de la diversité des pièces, la construction du moule est un problème sans cesse renouvelé et qui ne manque pas d'intérêt. Outre la prévision des orifices de coulée et des évents, on doit souvent ménager des

masses pour retarder la solidification des parties minces et égaliser en quelque sorte le refroidissement de la pièce. Il faut surtout soigneusement combiner le maintien des noyaux, leur démontage rapide, ainsi que la sortie facile de l'objet, car il importe avant tout de diminuer le plus possible les manipulations du moule pour augmenter son rendement.

L'art du constructeur de moules doit se lier intimement à l'art du fondeur et, bien souvent, ces deux spécialités sont confondues sous une même

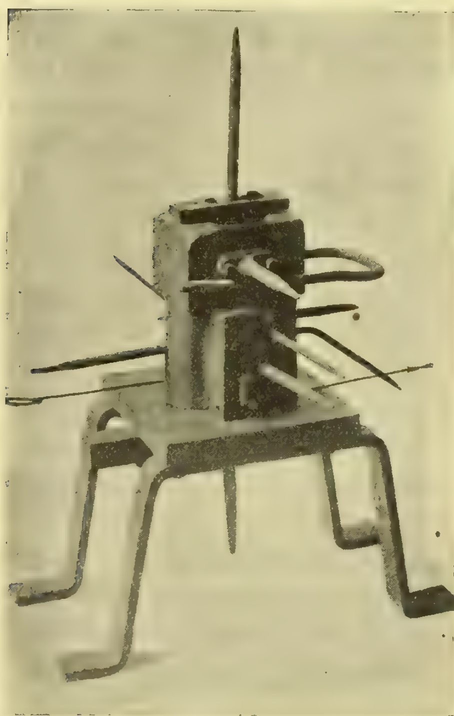


Fig. 1. — Coquille à mouler l'aluminium, fermée.

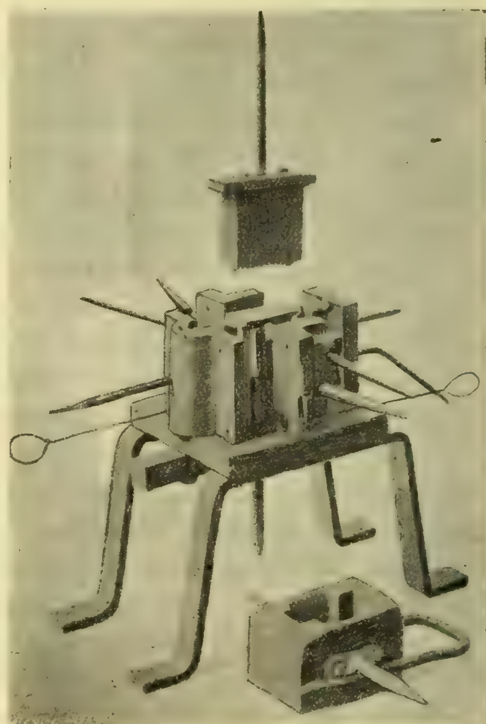


Fig. 2. — Coquille à mouler l'aluminium, ouverte.

direction, responsable du prix de revient de pièces aussi finies que possible.

La figure 1 montre un moule prêt à fonctionner, dans la position fermée, et permettant d'obtenir une pièce entrant dans la construction de compteurs électriques.

La figure 2 représente le même moule, ouvert pour le démoulage. La partie du haut est un piston qui donne la forme à la face supérieure de la pièce. C'est dans une sorte de manchon que l'on verse l'alliage en fusion. Les formes latérales de la pièce sont données par quatre joues, qui peuvent s'écarter et supportant des tiges accouplées qui produiront tous les trous

nécessaires. Enfin, un dernier piston vertical descend par le fait de l'ouverture du moule et engendre l'évidement central.

Les faces intérieures du moule sont chaque jour potéyées, c'est-à-dire enduites d'un mélange très liquide de blanc de Meudon et d'eau, puis saupoudrées de talc avant chaque moulage pour empêcher l'adhérence du métal en fusion. Le moule est ensuite fermé et chauffé fortement et continuellement au gaz d'éclairage et air comprimé, ou à l'huile lourde, à l'aide de brûleurs assez maniables pour être appliqués aux parties du moule qui en ont besoin et qui se révèlent à l'usage.

L'alliage qui doit être versé dans les moules est fondu au creuset à 700° ou 800° dans des fours appropriés, par exemple, dans un four système Méker (fig. 3).

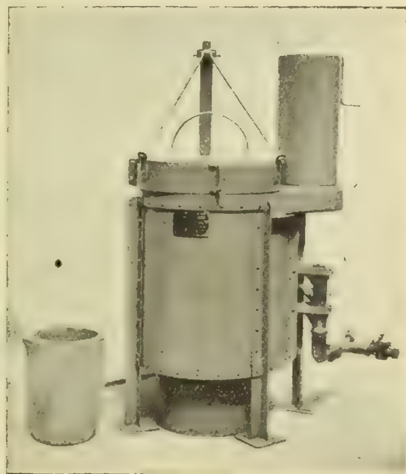


Fig. 3. — Four Méker.

Ce four est chauffé au gaz mélangé avec un jet d'air comprimé. Sur la figure, on voit le creuset, sorti du four; l'appareil comporte un couvercle se déplaçant horizontalement par rotation, sur un axe. La cheminée se place en général sous une hotte pour évacuer les gaz de la combustion.

On utilise aussi des fours à huile lourde et, de plus en plus rarement, des fours à coke.

L'alliage ne doit pas atteindre le rouge, vu à la lumière du jour. Il est versé dans le moule, et dès solidification, on démoule rapidement sans cesser de chauffer le moule. Il importe en effet que le retrait de l'alliage ne coince pas la pièce dans les replis du moule d'où il serait difficile de l'extraire et l'effet de contraction sur les noyaux pourrait alors fendiller et même rompre la pièce.

Les manipulations sont évidemment plus ou moins rapides suivant les formes à obtenir, mais la production « en coquille » est considérablement augmentée par rapport au moulage au sable, qui exige la construction et la destruction du moule pour chaque coulée. La main-d'œuvre de moulage en coquille est donc très réduite, par suite le procédé est relativement économique.

C'est ainsi que pour un support de rotation (haut de la figure 4) le prix de revient en aluminium fondu en coquille est environ trois fois moins élevé qu'en laiton moulé au sable et usiné.

Le prix, en aluminium fondu en coquille de la poignée de l'appareil Aspiror (bas de la figure 4) est les 3/5 environ de ce qu'il serait par le moulage au sable et l'usinage qui serait nécessaire. Toutefois la valeur des moules est assez élevée et l'on ne peut en prévoir l'établissement que si les pièces sont assez nombreuses, environ 300 ou 400 pour les exemples cités précédemment.

Ce mode de fabrication n'est donc, en général, admissible que pour les grandes séries sur des modèles de peu de volume. Mais le but principal des efforts d'unification entrepris dans toutes les industries étant d'amener la répétition fréquente du même modèle, le moulage en coquille s'imposera de plus en plus. Or, l'application de ce procédé étant la plus rationnelle avec l'aluminium, ce métal doit être choisi chaque fois qu'il sera possible.

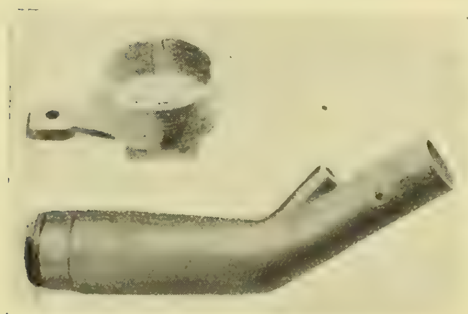


Fig. 4. — Pièces d'aluminium moulées en coquille.

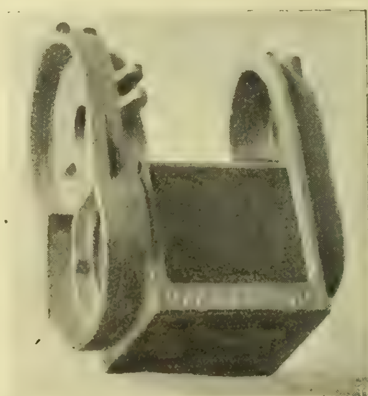


Fig. 5. — Bâti de magnéto en aluminium.

Indépendamment de leur prix réduit, les pièces moulées en coquille ont un aspect de fini remarquable, un degré d'exactitude et de précision permettant de supprimer une grande partie et souvent la totalité des opérations d'usinage qui seraient indispensables avec d'autres métaux. Le moulage en coquille permet encore de placer dans le moule des pièces métalliques déjà terminées, pour être englobées dans la masse et fixées exactement en place sans aucun travail d'ajustage.

Le bâti de magnéto (fig. 5), venu d'une seule pièce en est un exemple. L'assemblage est considérablement simplifié par rapport aux anciens bâtis en plusieurs parties de bronze, dont l'ajustage était si minutieux. De plus, les masses polaires en fer, préalablement usinées, font corps avec ce bâti par l'opération de fonderie, sans vis de pose ni taraudage et cependant concourant à la solidité de l'ensemble. Enfin, ce bâti reçoit, toujours au moment du

moulage, des écrous décolletés en laiton destinés à recevoir les vis de fixation de la magnéto. Cette disposition, facile à réaliser, fait disparaître l'objection concernant les filetages dans l'aluminium, peu résistants et peut-être sujets à se gripper, s'ils sont trop justes. Tous les constructeurs qui emploient les pièces fondues en aluminium sont unanimes à déclarer qu'ils y ont été conduits par ses qualités de légèreté, de montage facile, de fini des pièces et de prix relativement bas.

Voilà, je crois, d'assez brillants états de service pour un métal qui fit si récemment ses débuts dans le monde de la fonderie, où il dut se mesurer d'emblée avec des réputations séculaires comme celles de l'antique bronze et du fer traditionnel.

Pièces découpées et embouties.

Les pièces découpées ou embouties en aluminium ont trouvé en appareillage électrique des applications dont le nombre augmente chaque jour. L'exemple le plus ancien en électricité, de pièces simplement *découpées* en aluminium est celui des lames fusibles.

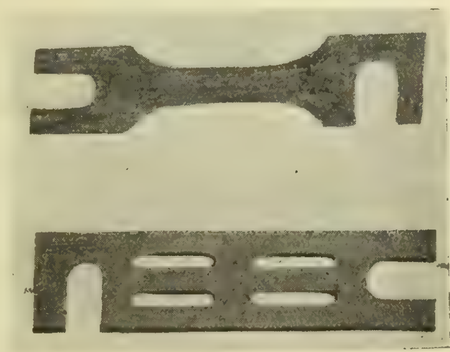


Fig. 6. — Fusibles en plomb (bas) et en aluminium (haut).

On voit par les deux pièces de la figure 6, représentant deux fusibles de 500 A, que les lames d'aluminium sont, à intensité égale, beaucoup moins volumineuses qu'en plomb et que, par suite, leur fusion provoque moins de projections de métal, toujours indésirables.

D'autre part, les fusibles dits en plomb sont généralement en alliage à base de plomb d'une composition très variable, leur point de fusion est par suite un peu incertain et si l'on veut limiter plus étroitement les surintensités, il convient d'adopter un fusible en métal d'un point de fusion constant et assez élevé pour ne pas être, comme le plomb, influencé par les variations de la température ambiante. L'aluminium est un de ces métaux, ce qui explique la faveur dont il est l'objet pour la fabrication des fusibles, dont l'étalonnage peut ainsi être plus rigoureux et plus précis.

L'application de l'aluminium devient plus intéressante encore pour les pièces *embouties* à la presse. La ductilité et la malléabilité sont alo rs des qualités prépondérantes. Or, la ductilité de l'aluminium est remarquable, c'est le métal usuel le mieux doué à ce point de vue, et pour la malléabilité, il est presque comparable aux métaux précieux. Il peut facilement, sans

criquer ni casser, être estampé, embouti ou repoussé avec des recuits peu nombreux entre 350° et 400°. Comme il est relativement mou, l'emboutissage en est favorisé. La fabrication des douilles ou supports de lampes à incandescence est une des plus caractéristiques.

On sait l'importance, dans l'éclairage électrique, du petit appareil représenté sur la figure 7 à l'extrémité d'une applique, et appelé douille ou support de lampe à incandescence, dont la consommation représente en France un débit de plusieurs millions et qui actuellement est construit presque exclusivement en laiton. Ce métal peut être avantageusement remplacé par l'aluminium constituant pour celui-ci un débouché très intéressant. Aussi a-t-on choisi la construction de ce support pour donner un exemple de pièces embouties d'aluminium en appareillage électrique.

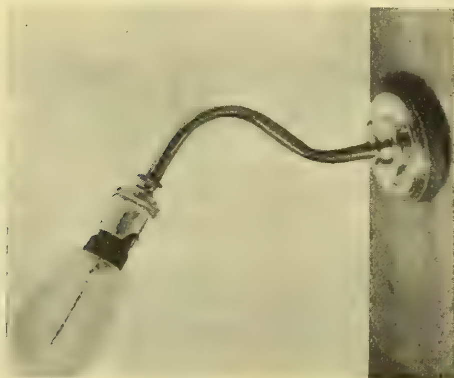


Fig. 7. — Lampe électrique avec support en aluminium.

Le processus normal est le même que pour les autres métaux, sans nécessiter d'outillage spécial à l'aluminium.

On débite à la cisaille, dans la planche livrée par le commerce, des bandes de largeur convenable. Un outil approprié, monté sur une presse, découpe dans ces bandes des rondelles ou flans, qui reçoivent du même coup une première ébauche de la forme à obtenir. D'autres emboutissages donnent les contours définitifs, puis, s'il y a lieu, on procède, toujours à la presse, à l'opération du défonçage, c'est-à-dire l'obtention des trous ou des à-jours nécessaires.

Ces opérations s'exécutent sur des presses de construction courante nullement transformées pour le travail de l'aluminium, entre autres sur les presses Bliss (fig. 8).

La presse Bliss se compose essentiellement d'un bâti avec plateau inclinable recevant la matrice. Un piston, mû par un excentrique porte un poinçon qui refoule la matière dans la matrice. Au moment où ce poinçon se relève, un éjecteur en chasse la pièce qui, glissant sur le plateau incliné, tombe dans un récipient.

La figure 9 donne une vue d'ensemble des machines servant à la fabrication des supports en aluminium dans les ateliers de l'Appareillage électrique Grivolas à Bobigny, qui peuvent assurer la production annuelle de 3 millions de ces appareils. La figure 10 est une autre vue de ces mêmes ateliers. On

voit à gauche les caisses contenant les pièces détachées des supports en aluminium. La figure 11 montre une presse en fonctionnement. Le piston de cette presse est vu au moment où il va emboutir la pièce dans la matrice.

Dans l'espèce, les supports sont composés de 3 pièces embouties (fig. 12), le culot, la chemise et la bague qui supportent aussi, suivant les cas, les diverses opérations de rognage, encochage, marquage, filetages ou taraudages; ces deux dernières façons étant faites par tarauds et filières ordinaires.

On construit deux sortes principales de supports (fig. 13), le support ordinaire, complètement embouti, et le support avec culot à raccord décolleté, permettant l'adjonction d'une vis arrêt au filetage de fixation, ce qui ne peut avoir lieu dans le support embouti, en raison de sa faible épaisseur.

Pour le support ordinaire, le culot est fini, en 8 opérations différentes dont 5 d'emboutissage proprement dit, les encoches, filetages et taraudages étant obtenus par des montages particuliers.

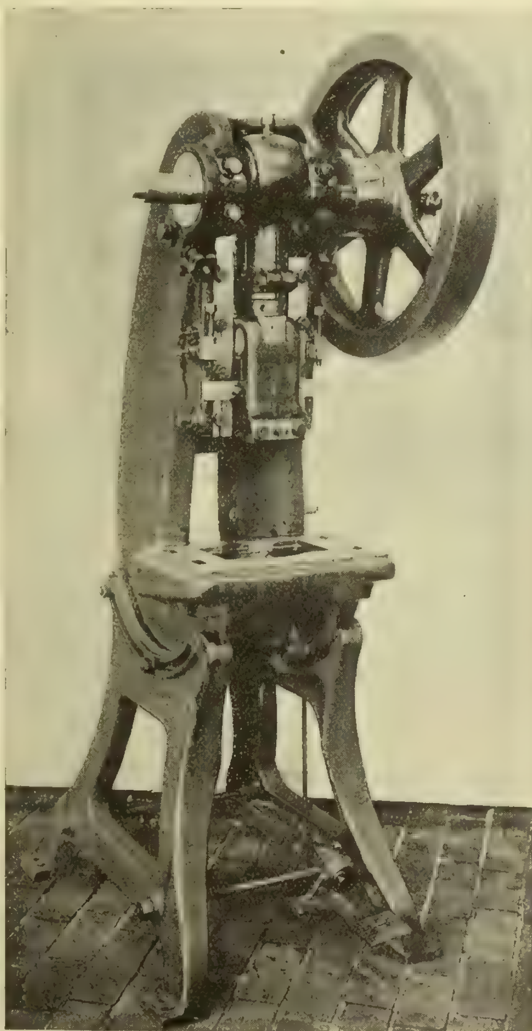
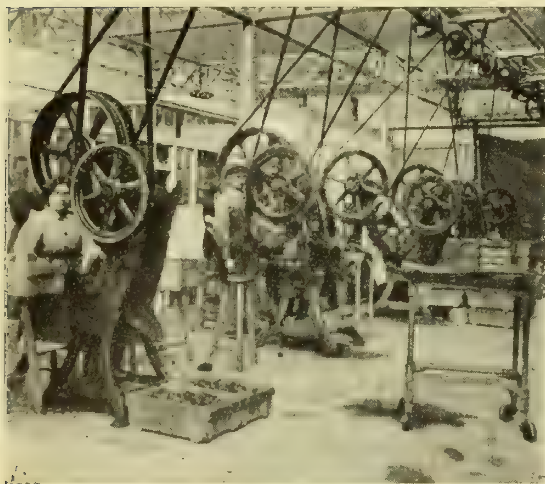


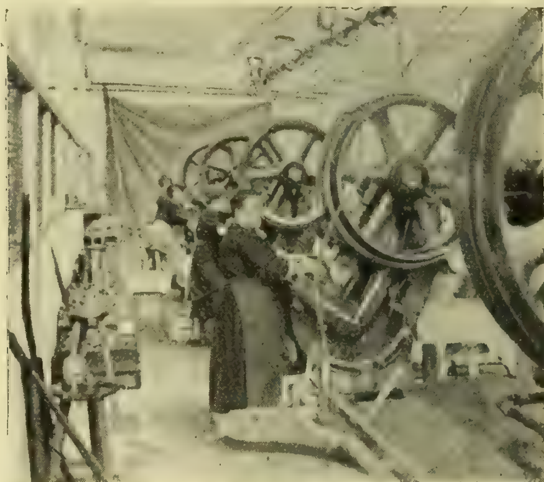
Fig. 8. — Presse Bliss.

La fabrication des supports avec culots à raccord décolleté diffère de la précédente par l'adjonction de ce raccord, qui lui-même présente une particularité. Il doit être décolleté et taraudé et, de plus, être serti sur le culot embouti (fig. 14). Il a fallu rechercher un alliage d'aluminium pouvant subir ces opérations et réaliser une qualité particulière qui donne aujourd'hui toute satisfaction.

Comme on le voit, la fabrication ne diffère que bien peu de celle admise pour le laiton, auquel par conséquent l'aluminium peut se substituer tout

naturellement. On constate qu'en raison de sa grande malléabilité, l'aluminium s'emboutit plus facilement que le laiton; c'est ainsi que toute la fabrication des supports se fait sans aucun recuit. Il y a finalement une certaine différence de prix en faveur des supports en aluminium.





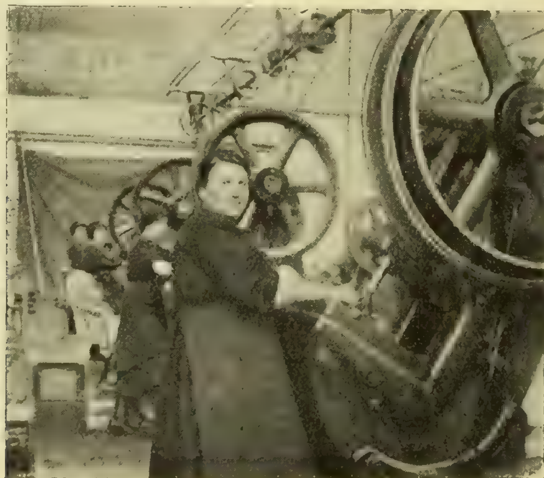


Fig. 9, 10 et 11. — Fabrication des supports de lampes dans les ateliers de l'Appareillage électrique Grivolas.

Il y a lieu de signaler que de tels supports ont été installés dans les stations aériennes du Métropolitain de Paris et les destructions annoncées par la légende sur l'oxydation rapide de l'aluminium ne se sont pas produites, ainsi que l'a excellemment constaté M. Legouëz, président de l'Union des Syndicats de l'Électricité, dans sa préface aux travaux de la Commission de

l'Aluminium qu'il a dirigés avec sa haute compétence habituelle et qui ont été publiés par la *Revue générale de l'Éléctricité.*

L'application des pièces découpées ou embouties en aluminium ne doit pas se limiter aux fusibles et aux supports; certains abat-jour, les réflecteurs, les calottes, couvercles et boîtiers légers, l'armature de tubes isolants pour câbles, etc., peuvent être emboutis en aluminium. Il y a lieu de citer encore, bien que l'aluminium ne soit sous cette forme ni découpé, ni embouti, son emploi comme conducteur pour les barres de connexions de tableaux de distribution ou pour jonction de ces barres aux génératrices, et une récente étude faite par l'Union des Syndicats de l'Électricité a unifié les dimensions à donner à ces barres.

On voit que le champ d'action est assez vaste pour la planche d'aluminium et que, sous cette forme aussi, ce métal est digne d'atteindre le développement acquis par ses aînés.



Fig. 12. — Support démonté.

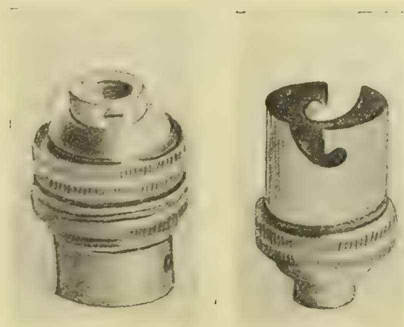


Fig. 13. — Supports de lampes montés. Support embouti. Support avec culot à raccord décolleté.

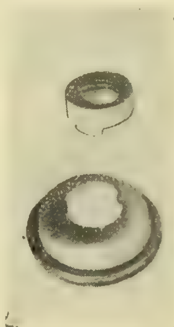


Fig. 14. — Culot embouti à raccord décolleté.

Pièces décolletées.

Dans la construction du petit appareillage électrique, une grande partie des pièces sont décolletées, c'est-à-dire taillées au tour, dans des barreaux de sections appropriées et ces barreaux sont suivant les cas en laiton ou en acier doux. Les pièces décolletées sont en grande majorité des vis. Devant l'énorme quantité des vis employées en appareillage électrique, quantité qui atteint par an des centaines de millions, on a été conduit à comparer à l'acier et au laiton tout métal propre au décolletage, en particulier l'aluminium.

D'autre part, outre l'aluminium pur, il a été créé un alliage à base d'alu-

minium : le duralumin, remarquable par sa dureté et sa solidité, et une autre qualité encore, spécialement étudiée en vue du décolletage et dont il sera parlé ultérieurement. La comparaison de ces différents métaux est des plus ardues, en raison de la quantité et de la diversité des facteurs qui influent sur le prix définitif des pièces. Suivant que celles-ci doivent être conductrices ou non, leurs sections sont variables; elles sont variables aussi selon la solidité requise, et suivant le prix de la matière brute; mais les prix de matière étant actuellement instables, il ne pourra en être fait état qu'après examen des prix de la main-d'œuvre afférente à chaque métal.

La main-d'œuvre consiste à enlever dans une barre de métal d'un diamètre au moins égal à celui de la partie la plus grosse de la pièce, toute

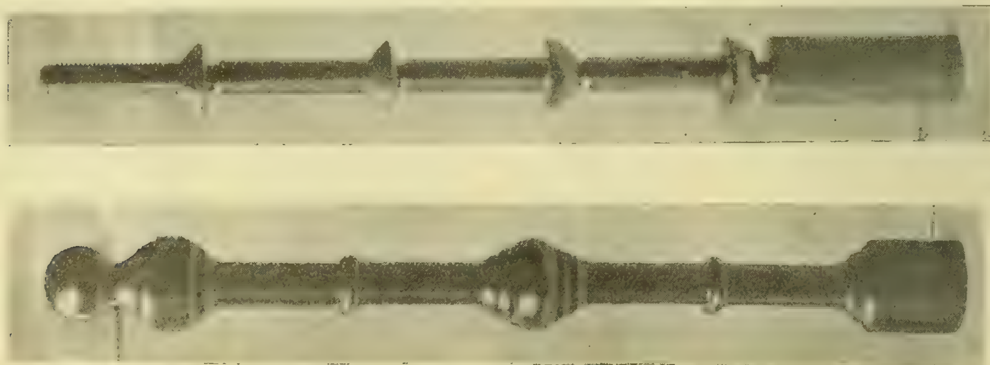


Fig. 15. — Vis et balustre décolletés.

la matière en excédent du profil à obtenir. Cette opération se fait sur un tour; le barreau à décolleter étant animé d'un mouvement de rotation, on enlève avec un outil coupant une certaine épaisseur de matière représentant ce qu'on appelle l'avance et on enlève cette épaisseur d'autant plus vite que la surface à tailler se présente plus rapidement devant l'outil. C'est ainsi qu'ont été réalisés les deux exemples de la figure 15.

Le premier exemple concerne la fabrication des vis. Les têtes sont formées en avançant un outil de forme perpendiculairement à l'axe; le corps cylindrique de la vis par le déplacement parallèle à l'axe d'un autre outil; le filetage en forçant cette partie cylindrique dans une filière coupante et finalement la vis terminée est détachée du reste de la barre par un outil s'avançant perpendiculairement à l'axe et produisant le sectionnement appelée saignée. Dans cet exemple, la saignée n'est pas complètement effectuée à chaque vis ainsi que cela se passe en réalité; d'autre part, la longueur de la barre diminue chaque fois qu'on en détache une vis terminée; il faut donc, à mesure, ramener la barre à portée des outils.

Le second exemple est une sorte de balustre d'un diamètre maximum égal à celui de la barre elle-même. Les parties moulurées sont obtenues en avançant perpendiculairement à l'axe un outil découpé suivant la forme voulue, les parties cylindriques sont données par un outil s'avançant parallèlement à l'axe.

On voit donc que dans le travail de décolletage interviennent deux facteurs principaux, la *vitesse* et l'*avance*, en supposant constante la largeur de l'outil coupant. On doit donner à ces deux facteurs une valeur aussi élevée que possible pour augmenter le rendement, sans atteindre la limite produisant le calage du tour ou le broutage, qui est un déchirement du métal, un arrachement des molécules et non leur séparation par sectionnement. Le broutage donne aux pièces un aspect et des dimensions inutilisables et risque de casser

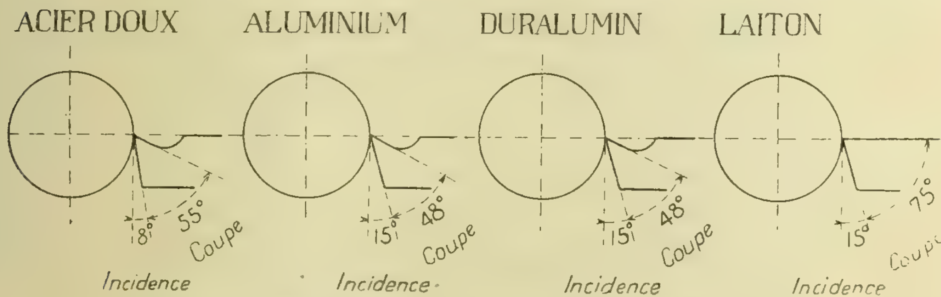


Fig. 16. — Conditions de travail au tour des différents métaux.

l'outil; il faut donc absolument l'éviter. L'outil, en acier dit à coupe rapide, doit être plus ou moins coupant et se présenter d'une façon particulière suivant les métaux qu'il travaille; la figure 16 montre les différentes formes à donner, d'après l'expérience, à cet outil.

Pour l'aluminium, le duralumin, l'outil est plus aigu, plus coupant que pour l'acier; pour le laiton, au contraire, l'angle est le plus obtus, le plus camard et cela tient à la nature même du métal à travailler. L'angle d'incidence, est à peu près toujours le même sauf pour le cas de l'acier où il est un peu diminué, donnant ainsi à l'outil une solidité suffisante pour couper un métal relativement dur et conserver plus longtemps sa coupe. Pendant le travail, l'outil et la pièce doivent être constamment et abondamment arrosés et refroidis pour faciliter la coupe en retardant l'usure du taillant de l'outil.

Suivant le nombre de pièces à produire, les opérations sont faites sur deux sortes de tours :

1° *Le tour à barre*, d'un réglage rapide, mais de précision relativement faible, convient pour les séries peu importantes;

2° *Le tour automatique*, plus précis, nécessitant un montage spécialement

étudié pour chaque pièce et un réglage minutieux, par conséquent coûteux ; il doit être réservé pour les grandes séries et la fabrication continue.

Tour à barre (fig. 17). — Le barreau à décolleter, entraîné par un mandrin mû par des poulies, se présente devant les outils fixés sur un chariot et avancés perpendiculairement à l'axe par une vis sans fin à deux manettes. Le déplacement parallèle à l'axe de l'outil est obtenu par le mouvement du chariot lui-même au moyen d'un levier, la barre, manœuvré à la main.

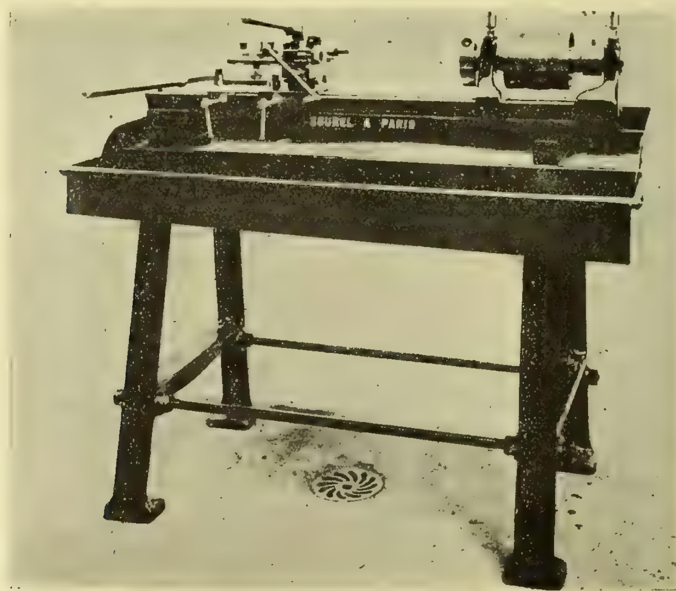


Fig. 17. — Tour à barre Bourel.

Lorsqu'il s'agit de fileter ou tarauder, on le fait avec des filières ou tarauds maintenus à la main.

On donne au tour à barre une *vitesse* convenable à chaque métal à travailler à l'aide de poulies de diamètres étagés. La barre, en tournant, vient présenter sa surface circonférentielle à l'outil qui y découpe une spirale de métal. La longueur développée de cette spirale, produite en un ou plusieurs fragments pendant une minute est la vitesse linéaire, qui est déterminée par la limite d'usure des outils. L'expérience a montré que pour tous les métaux, le travail de la filière doit se faire à vitesse plus réduite que le travail à l'outil, de là, pour chacun des métaux, deux valeurs de la vitesse indiquées sur le tableau ci-après.

Le décolletage de l'acier est le plus lent; l'aluminium et le duralumin supportent la même vitesse, égale à celle du laiton. Pour les filetages, la vitesse

propre à l'acier est encore plus réduite, celle de l'aluminium n'est plus la même que pour le duralumin et le laiton; elle doit être plus faible car l'aluminium étant très mou, s'arrache facilement par la filière.

	VITESSE LINÉAIRE EN MÈTRES PAR MINUTE ENVIRON CONVENABLE AUX MÉTAUX			
	Acier.	Aluminium.	Duralumin.	Laiton.
Pour le décolletage	20-25	40-50	40-50	40-25
Pour le filetage et le taraudage .	6-8	10-15	20-25	20-25

L'*avance* est produite à la main par l'opérateur qui, pour accroître sa production, provoque l'avance la plus rapide possible sans toutefois nuire au bon aspect et au fini des pièces. Le doigté de l'ouvrier donne donc sensiblement l'avance pratiquement maximum suivant sa force physique, et compatible avec le métal, la vitesse, la coupe de l'outil, la lubrification, etc. Cette avance n'est d'ailleurs pas constante pour toute la durée de l'opération, en particulier si la pièce doit avoir un profil irrégulier et très découpé. Elle est encore variable suivant le degré de fini et de précision exigé et suivant l'habileté et l'expérience de l'opérateur. Il est donc difficile de fixer des données générales et tout au plus peut-on déterminer des moyennes pour baser des estimations préalables, à vérifier chaque fois en pratique. Ces moyennes semblent pouvoir être évaluées comme suit :

AVANCE PAR TOUR EN MILLIMÈTRES ENVIRON CONVENABLE AUX MÉTAUX			
Acier.	Aluminium.	Duralumin.	Laiton.
0,06	0,03	0,08	0,10

L'avance la plus forte est celle du laiton; le duralumin demanderait plus de précaution; l'acier admet encore moins d'avance du fait de sa dureté. Quant à l'aluminium, il paraît se laisser difficilement rayer même par des corps plus durs, qui semblent glisser sur lui comme s'il était recouvert d'un produit gras. Cette propriété, dit M. Escart, dans son ouvrage *L'aluminium dans l'industrie*, a été attribuée à la fine cohésion de ses molécules, très petites et très serrées; quoi qu'il en soit, l'usinage au tour lui est peu propice.

Pour avoir une base de comparaison, le travail susceptible d'être effectué sur des pièces d'un même modèle, mais de matière différente, peut être exprimé en valeur purement relative par le produit de la vitesse et de l'avance, étant bien convenu que toutes les autres conditions sont égales ou équivalentes; c'est ce que l'on peut appeler le coefficient de travail utile. Ce produit maximun, est indiqué au tableau ci-après.

Donc, à volume égal, l'acier et l'aluminium seraient environ trois fois plus chers à travailler que le laiton, mais le duralumin serait assez voisin du laiton.

	(COEFFICIENT DE TRAVAIL UTILE TOUR A BARRE)			
	Acier.	Aluminium.	Duralumin.	Laiton.
Vitesse × avance	25 × 0,06	50 × 0,03	50 × 0,08	50 × 0,10
Soit	1,5	1,5	4	5
En prenant le laiton pour unité	0,5	0,3	0,8	1
Main-d'œuvre inversement proportionnelle.	3,3	3,3	1,25	1

Tour automatique. — Jusqu'en 1914, ces machines étaient peu construites en France. Il n'en n'est plus de même aujourd'hui; c'est ainsi qu'un des tours construits par la Maison Cuttat, peut décolleter jusqu'à 12 mm de diamètre.

Dans la fabrication au tour automatique, la main de l'opérateur n'intervient plus. Tous les outils sont dirigés et conduits par le mécanisme et la barre elle-même se présente automatiquement à chaque pièce, poussée par un contrepoids, puis serrée dans le mandrin par une came. On est donc maître de la vitesse et de l'avance, la proportion de chacune d'elles étant réglée par des cames. Le cycle des opérations se renouvelle suivant les prévisions admises et il semble que les données fondamentales devraient être mieux connues qu'au tour à barre. Pourtant certains opérateurs donnent la prédominance à la vitesse et d'autres à l'avance, sans avoir la certitude d'obtenir du premier coup la production maximum, limitée par l'apparition de traces d'arrachement. La vitesse convenable à chaque métal est, pour le tour automatique, sensiblement la même que pour le tour à barre, et différente pour le décolletage et pour le filetage ou taraudage.

Toutefois, la production du tour automatique est plus élevée que celle du tour à barre, elle s'accroît encore par la possibilité d'effectuer simultanément plusieurs opérations, et aussi parce que les temps d'arrêt entre chaque opération sont réduits au strict minimum. Mais il n'est pas question d'apprécier le degré de supériorité d'un procédé sur l'autre, mais simplement de comparer entre eux les coefficients de travail concernant chaque métal, en fonction de la vitesse et de l'avance convenable. Voici en ce qui concerne le tour automatique, le produit maximum de ces deux facteurs.

	COEFFICIENT DE TRAVAIL UTILE (TOUR AUTOMATIQUE)			
	Acier.	Aluminium.	Duralumin.	Laiton.
Vitesse × avance	25 × 0,3	50 × 0,14	50 × 0,35	50 × 0,40
Soit	7,5	7	17,5	20
En prenant le laiton pour unité	0,37	0,35	0,85	1
Main-d'œuvre inversement proportionnelle .	2,7	2,86	1,18	1

Comme les deux genres de tours seront encore employés concurremment, on peut se baser sur une moyenne de coefficients de travail obtenus pour

chacun d'eux, et l'on peut conclure qu'à volume égal, l'acier et l'aluminium seraient environ trois fois plus chers à travailler que le laiton, mais que le duralumin serait presque à égalité du laiton. Bien que ces données ne soient qu'approximatives, et sujettes suivant les cas à d'importantes corrections, il est visible que la différence concernant l'aluminium pur est telle qu'il n'est pas utile pour le moment d'insister sur l'emploi de ce métal dans le décolletage, surtout pour des pièces taraudées et filetées, car il semble que tous les filetages en aluminium sont peu résistants et sujets à se gripper. La disproportion de main-d'œuvre est beaucoup moins grande entre le laiton et le duralumin, et l'on peut examiner les moyens de faciliter l'emploi de ce dernier qui est un alliage composé de :

Aluminium	94,2 p. 100
Cuivre	4,7 —
Manganèse	0,6 —
Magnésium	0,5 —

Malgré toutes ses qualités, on peut encore se demander si, en raison de son prix, le duralumin est l'alliage d'aluminium qui convient le mieux au décolletage. Sa conductibilité électrique est diminuée par rapport au métal pur, mais il en est de même pour le laiton par rapport au cuivre rouge; et cependant l'emploi du laiton a depuis longtemps pris une extension considérable. Cela peut tenir à ce que le laiton, qui n'est ni le plus solide, ni le plus dur, ni le plus conducteur des alliages cuivreux, est offert à l'industrie sous une forme spécialement appropriée, étudiée et conçue en vue du décolletage.

Il a fallu, pour permettre le décolletage pratique de l'aluminium, trouver un alliage qui soit à l'aluminium ce que le laiton est au cuivre. S'inspirant de ce principe, M. Léon Guillet, le savant ingénieur, a bien voulu entreprendre les recherches nécessaires à l'instigation de la Société « l'Aluminium français », dont l'habile directeur M. Guignard, qui en fut le promoteur enthousiaste, a été secondé activement par l'intelligente collaboration de M. Guérin.

Cette étude si difficile et si délicate a été couronnée d'un plein succès, permettant à l'importante industrie du décolletage l'application de l'alliage spécial au zinc. Sa composition est la suivante :

Aluminium	84 p. 100
Zinc	15 —
Plomb	1 —

Du reste, pour permettre sa comparaison avec les métaux susceptibles d'être couramment décolletés, le tableau suivant résume les caractéristiques approximatives de chacun d'eux.

	CARACTÉRISTIQUES			
	Acier 0,1 à 0,2 p. 100 de carbone.	Duralumin.	Laiton.	Alliage spécial d'aluminium au zinc.
Résistance à la traction (kg : mm²).	38 à 42	38 à 40	28 à 36	30 à 40
Limite élastique — .	22 à 30	23 à 25	12 à 16	29 à 33
Allongement p. 100.	24 à 28	18 à 20	25 à 35	10 à 12
Dureté à la bille de Brinell	110 à 120	110 à 120	75 à 85	110 à 120
Densité	7,8	2,8	8,2 à 8,5	3,3

Cet alliage d'aluminium au zinc, a montré après un examen approfondi, qu'il se travaillait avec un coefficient se rapprochant du laiton plus encore

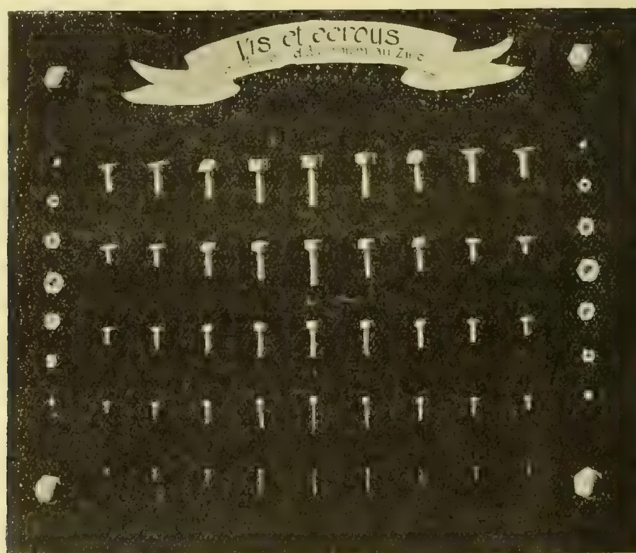


Fig. 18. — Vis et écrous en aluminium au zinc fabriqués par l'Appareillage électrique Grivolas.

que le duralumin; et par l'usage il a prouvé qu'il pouvait remplacer le laiton dans la plupart de ses applications.

Il y a lieu d'examiner la question du prix de la matière elle-même en tenant compte de la récupération des déchets. Le décolletage occasionne en effet une quantité importante de copeaux, la tournure, qui, pour le laiton, est reprise par les fournisseurs et représente une certaine valeur, venant en déduction du prix de revient définitif des pièces. Les fabricants d'alliage devront se préoccuper du prix de vente de leurs barreaux et du prix de reprise des déchets, et le développement de l'emploi de cet alliage contribuera certainement à rendre sa fabrication rémunératrice. En dernière analyse, d'une façon générale les prix des petites pièces en duralumin sont sensiblement égaux à ceux du laiton, et ceux des pièces en alliage spécial

au zinc, inférieurs à ceux du laiton. Les qualités de solidité et de légèreté de ces métaux donnent, dans beaucoup de cas, une réelle supériorité. C'est donc sous les deux formes et surtout sous celle de l'alliage au zinc qu'il y a lieu d'étendre l'emploi de l'aluminium destiné à l'appareillage électrique.

Le tableau de la figure 18 montre une série de vis et d'écrous fabriqués avec cette matière par l'Appareillage électrique Grivolas, et donnant d'excellents résultats. Le tableau de la figure 19 montre un ensemble de pièces décolletées dans le même alliage, indiquant ce qui est déjà obtenu dans ce genre.

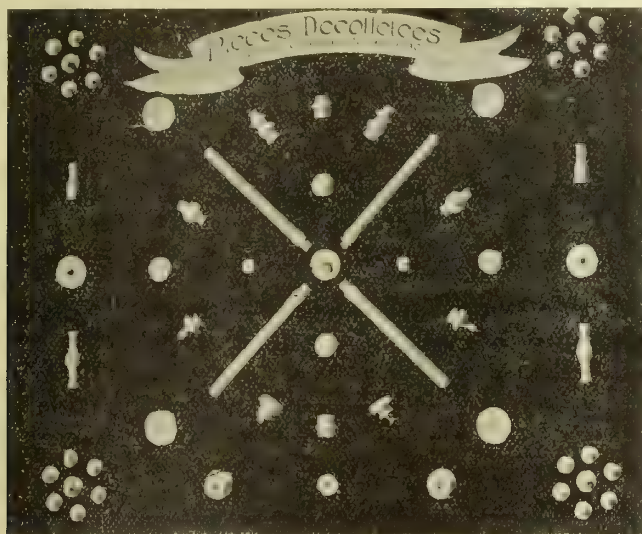


Fig. 19. — Pièces décolletées en aluminium au zinc fabriquées par l'Appareillage électrique Grivolas.

*
* *

L'aluminium est donc aujourd'hui employé sous les trois principales formes usitées dans la construction. Les pièces fondues sont d'un usage courant depuis quelques années et leurs avantages sont pleinement reconnus; les pièces découpées ou embouties ont fait ensuite leurs preuves; les pièces décolletées, plus nouvellement mises au point sont pratiquement réalisées. Ainsi est complété le cycle normal de la construction en aluminium, permettant d'augurer dès maintenant le brillant avenir mondial d'un métal français.

Applications courantes.

Après avoir examiné les différentes manières dont l'aluminium est mis en œuvre, il y a lieu de se faire une idée des résultats si intéressants obtenus dans la pratique. Les applications de l'aluminium dans l'industrie électrique sont très nombreuses et la réunion des modèles aujourd'hui en usage nécessiterait un espace considérable. Il faut donc se borner à quelques exemples, simplement pour donner une impression de l'étendue des services que peut rendre ce métal dans les différentes branches d'une partie de la construction électrique.

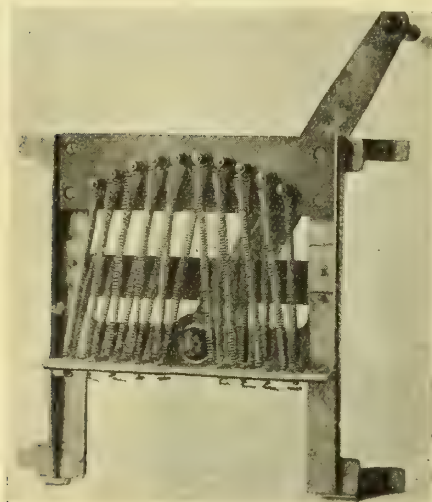


Fig. 20. — Rhéostat avec armature en aluminium.

Appareillage électrique. — L'aluminium est tout indiqué pour les *carcasses et bâtis de rhéostats*, témoin la résistance de la maison Gaiffe, Gallot et Pilon, dont toute l'armature est d'une seule pièce d'aluminium (fig. 20).

Il est aussi désigné pour obtenir des pièces comportant des bossages, des

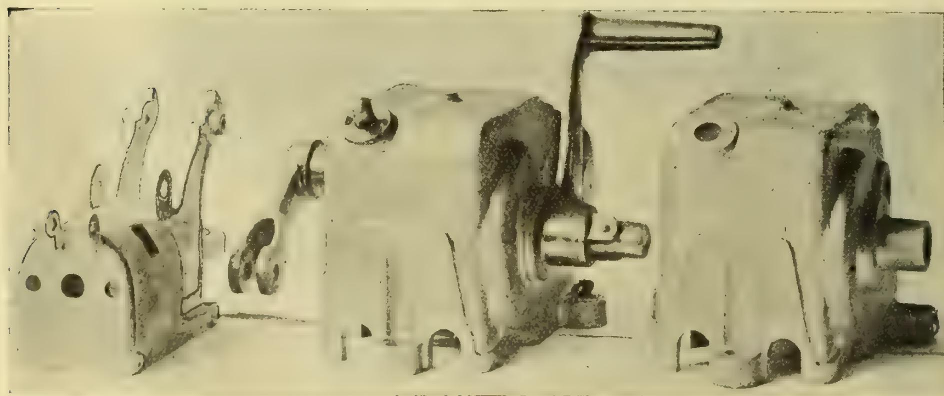


Fig. 21. — De gauche à droite : Bâti de disjoncteur unipolaire, type Neostyle; Mécanisme complet de disjoncteur type Carter; — Boîte de mécanisme de disjoncteur type Carter.

noyaux de forme et d'emplacement déterminés comme les *carters de disjoncteurs*, ainsi que l'a fort bien compris la Métallurgique électrique dont quelques échantillons sont représentés par les figures 21 et 22.

L'Appareillage électrique Grivolas emploie l'aluminium moulé en coquille pour des pièces servant de soutien à des petits interrupteurs spéciaux.

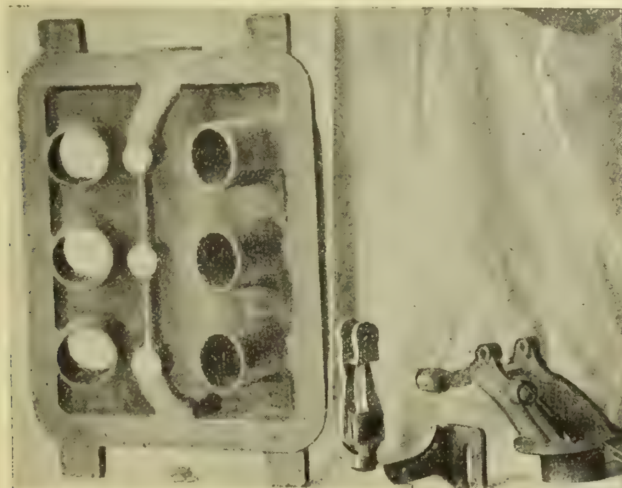


Fig. 22. — De gauche à droite : Support d'équipage mobile de disjoncteur haute tension; — Chape de levier d'interrupteur Simplex; — Patte de fixation de transformateur d'intensité type bloc; — Bâti d'interrupteur série minière.

La figure 23 montre l'interrupteur bien connu sous le nom de *contact de porte*, allumant une lampe dans un local où l'on pénètre en ouvrant une porte et l'éteignant quand on ouvre à nouveau pour sortir.



Fig. 23. — Interrupteurs divers (contact de porte et targette électrique); griffes d'abat-jour et abat-jour en aluminium.

L'autre interrupteur, avec bâti d'aluminium, est une *targette électrique*, qui allume une lampe lorsqu'on pousse le verrou et l'éteint lorsqu'on l'ouvre.

Les *griffes* fondues, pour fixation d'abat-jour, et les *abat-jour* eux-mêmes, en aluminium repoussé, sont aujourd'hui très appréciés.

L'aluminium s'emploie également dans les appareils pour tableaux de distribution en remplacement du laiton, à l'extrémité de la poignée de manœuvre fixée sur l'axe de l'interrupteur représenté sur la figure 24.

Fig. 24. — Interrupteur avec extrémité de poignée de manœuvre en aluminium.

Le *raccord* pour jonction de câbles électriques de M. Pairard (fig. 25) est tout en aluminium fondu. Il est destiné à relier, par coincement conique, sans faire d'épissures, deux câbles en aluminium avec âme en acier. Il est formé de deux raccords concentriques. Celui du centre réunit les fils d'acier formant l'âme du câble et celui de l'extérieur réunit les fils d'aluminium conducteurs. Cet appareil est employé avec succès sur les lignes de nouveaux réseaux des régions dévastées.

Chauffage électrique. — Cette intéressante industrie ne pouvait manquer de donner une place importante à l'aluminium, qui permet d'obtenir des appareils très maniables et susceptibles d'être déplacés rapidement et sans effort d'une pièce à une autre, ce qui est essentiel pour ce genre de chauffage qui consiste parfois à appliquer la source calorifique juste à l'endroit nécessaire.

La figure 26 montre un *chauffe-pieds* et un *radiateur* semi-parabolique, construits par l'Appareillage électrique Grivolas.

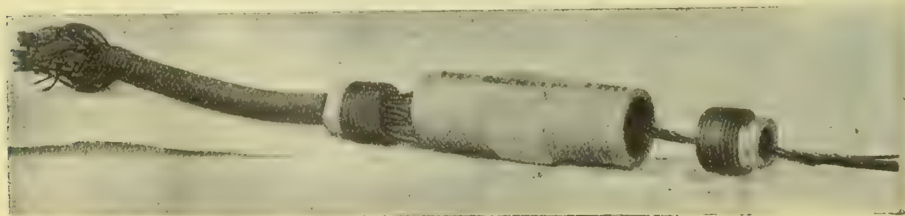


Fig. 25. — Raccord pour jonction de câbles électriques.

Sur la figure 27, on voit la semelle en duralumin, d'un *fer à repasser* dit *de voyage*, et le fer lui-même, dont le poids est ainsi sensiblement diminué; on voit aussi un *chauffe-assiettes*, dont l'enveloppe est entièrement en aluminium.

La Compagnie générale de Travaux d'Éclairage et de Force (anciens Établissements Clémançon), construit un radiateur où l'aluminium prédo-

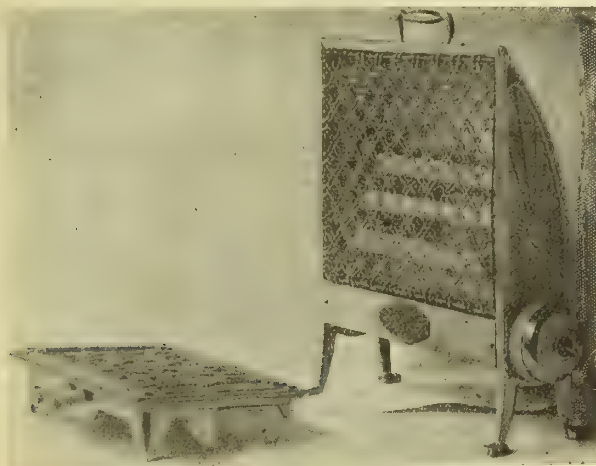


Fig. 26. — Chauffe-pieds et radiateur électriques.

mine; les pieds fondus et le revêtement en tôle perforée et gaufrée sont en aluminium (fig. 28).

Le *cuiseur* (fig. 29), sortant des mêmes établissements, a également une carcasse fondue en aluminium.

MM. Clin et Cie ont fait une intéressante application du chauffage élec-

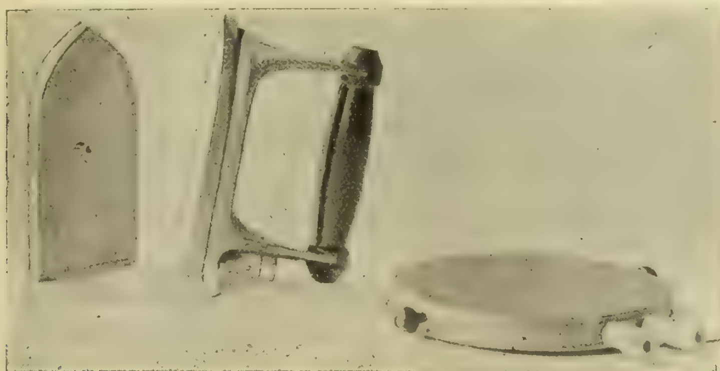


Fig. 27. — Fer à repasser de voyage et chauffe-assiettes électriques.

trique dans leur *fer à souder* (fig. 30), la pièce de cuivre produisant la soudure étant enchassée avec de l'amiante dans une monture d'aluminium, l'ensemble du fer est relativement léger, diminuant ainsi la fatigue du soudeur.

La figure 31 représente un *radiateur électrique* de la Société « Le

Matériel » dans lequel le fond est en aluminium pour parer à l'oxydation qui attaquait les tôles de fer; l'aluminium étant plus propre et d'un aspect

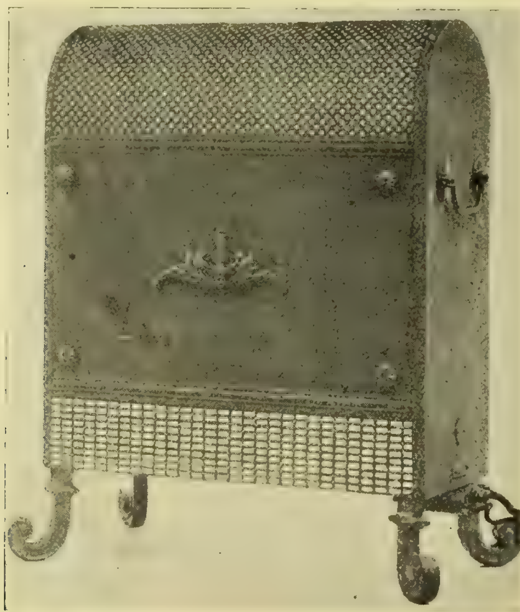


Fig. 28. — Radiateur électrique avec carcasse en aluminium.

plus agréable s'assortit mieux au fini de l'appareil, qui est plutôt un modèle de luxe.

Magnétos. — On peut rappeler comme une application curieuse du

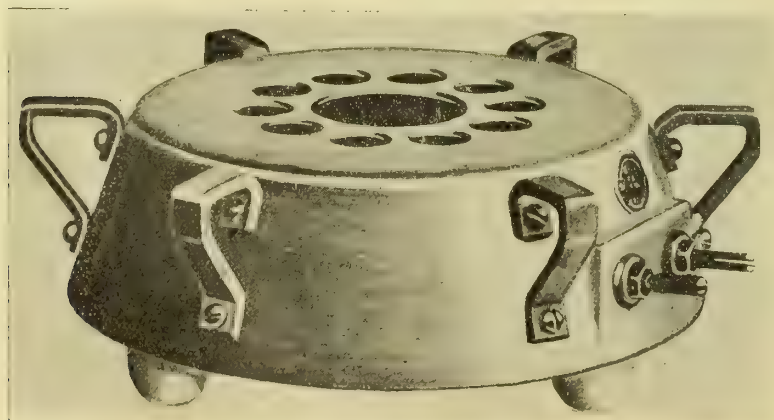


Fig. 29. — Cuiseur électrique.

moulage en coquille les *bâtis de magnétos* (fig. 32) qui sont un des premiers exemples de bâtis monoblocs. L'une de ces magnétos, pour moteurs à 8 cylin-



Fig. 30. — Fer à souder électrique à monture d'aluminium.

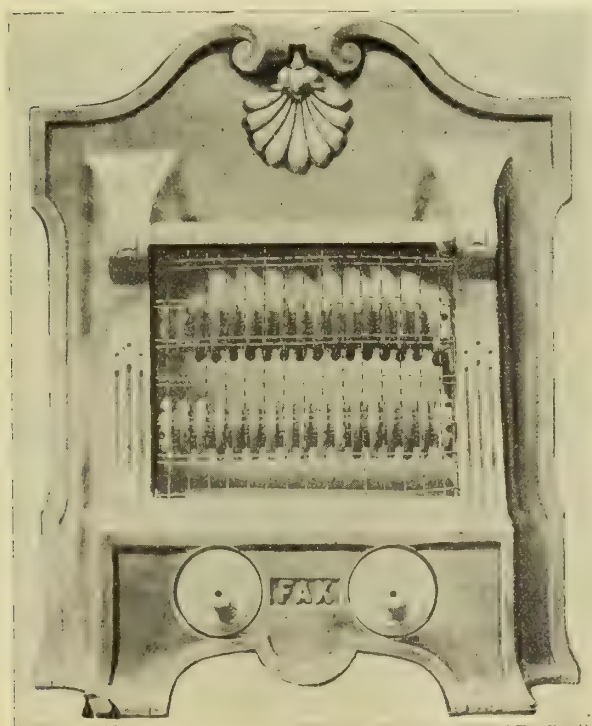


Fig. 31. — Radiateur électrique à fond d'aluminium.

dres, a été construite pendant la guerre pour l'aviation; les modèles pour automobiles, motocyclettes et moteurs fixes dérivent du même principe.



Fig. 32. — Bâtis de magnétos Monobloc.

Moteurs et dynamos de faibles puissances. — L'enveloppe des moteurs électriques de petites puissances se fait beaucoup en aluminium, ce qui leur

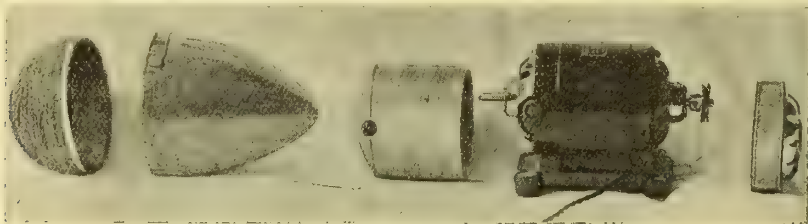


Fig. 33. — Moteur universel et pièces détachées.

donne une excellente apparence et diminue leur poids. La figure 33 montre à gauche deux pièces appartenant à une *dynamo de télégraphie sans fil* pour

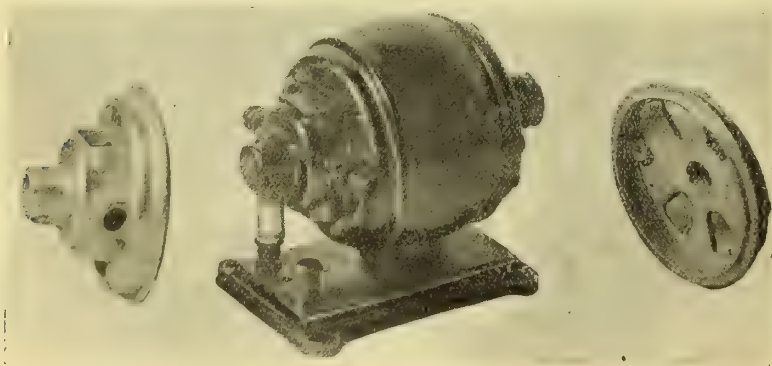


Fig. 34. — Moteur électrique.

avion, construite par M. Ragonot; à droite est représenté un *moteur universel*

de 1/8 ch avec carcasse en aluminium émaillé au four en noir, et dont le corps

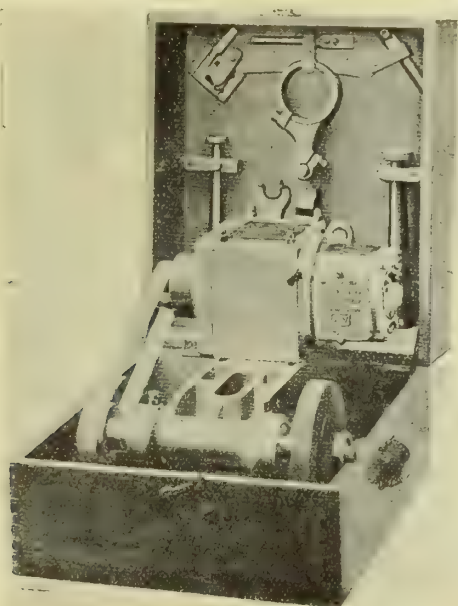


Fig. 35. — Rectifieuse.

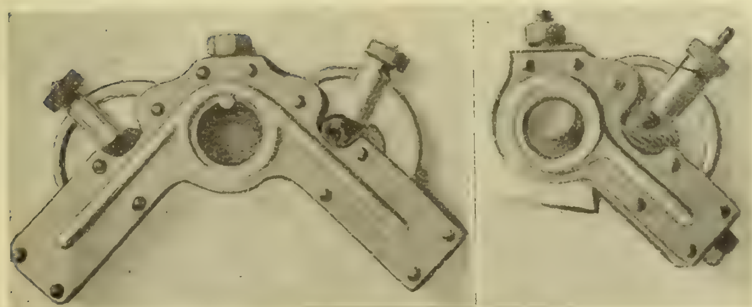


Fig. 36. — Porte-balais en aluminium.



Fig. 37. — Porte-balais en aluminium.

et la flasque, non usinés, sont placés à côté. La figure 34 montre une disposition du même genre employée dans les moteurs fabriqués par M. Martinot.

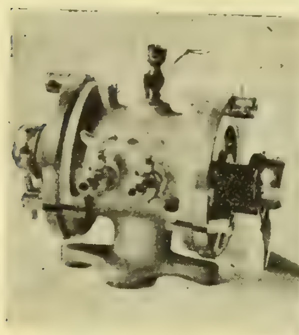


Fig. 38. — Éclateur.

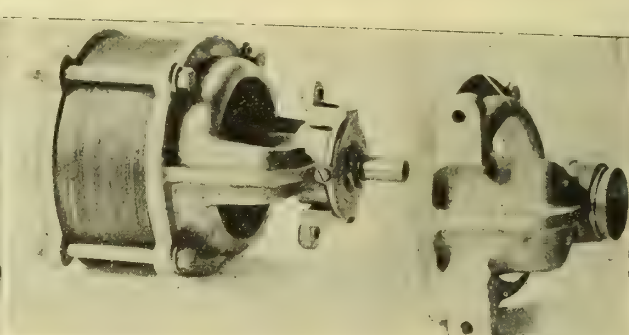


Fig. 39. — Moteur de T. S. F. à flasques d'aluminium.

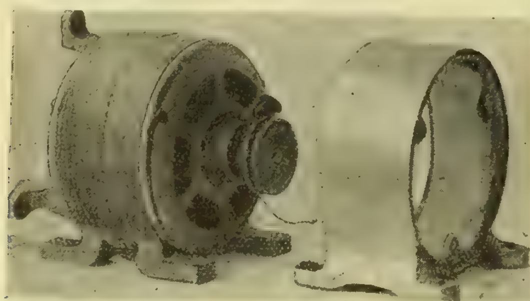


Fig. 40. — Moteur de T. S. F. avec bâti en aluminium.



Fig. 41. — Pièces diverses pour téléphonie.

La figure 35 représente une *rectifieuse*, appareil à meuler, rectifier et affûter à commande électrique, placée avec ses accessoires dans une boîte en bois verni. Toute la carcasse et les bâtis sont en aluminium, rendant ainsi l'ensemble très portatif et lui donnant un aspect des plus agréables. C'est un outillage complet, dont les détails ont été étudiés avec une grande précision par le constructeur, M. René Volet.

L'aluminium est aujourd'hui très employé pour la fabrication de *porte-balais* pour moteurs et dynamos; la figure 36 représente une de ces pièces, non usinée et la même complètement montée, adoptée par M. Ragonot. De même MM. Japy Frères construisent des *porte-balais* en aluminium et la figure 37 montre un de ces organes pour moteur asynchrone sans relevage et un autre pour moteur à courant continu.



Fig. 42. — Serre-tête et microphone de poitrine.



Fig. 43. — Appareil de téléphonie Allophone.

Télégraphie sans fil. — MM. Gaiffe, Gallot et Pilon sont les constructeurs de l'*éclateur* (fig. 38), pour la production des étincelles en T. S. F. Deux arcs en série jaillissent entre 3 charbons placés à l'intérieur; ces arcs sont soufflés par deux jets d'air comprimé qui s'échappe par un ajutage placé à la partie supérieure du bâti en aluminium. Les mêmes constructeurs ont adopté l'aluminium pour les *flasques d'un moteur* (fig. 39), employé en T. S. F. ainsi que pour le cadre et les flasques de celui de la figure 40, servant également en T. S. F. et il en résulte un minimum d'outillage pour ces pièces.

Téléphonie. — L'aluminium est très employé en téléphonie, en raison de sa légèreté et de sa propreté. Il n'est presque pas un modèle d'appareil

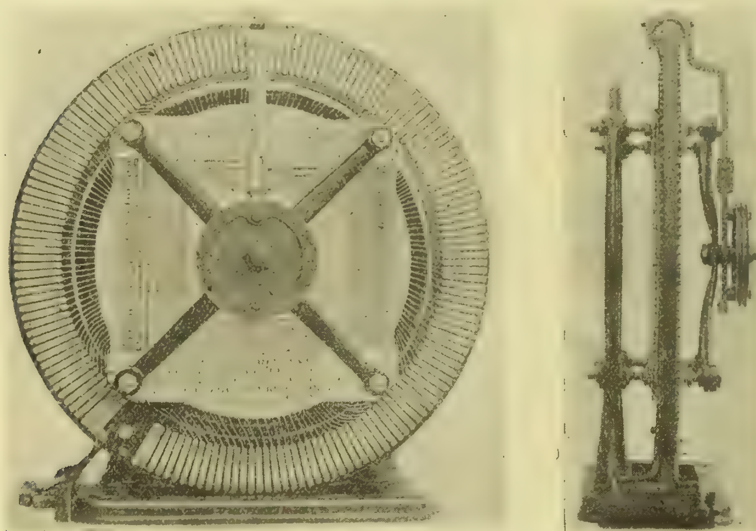


Fig. 44. — Rhéostat pour jeu d'orgue de théâtre.

téléphonique où l'on ne rencontrerait aucune trace d'aluminium. La Société industrielle des Téléphones a donné une large place à ce métal dans sa

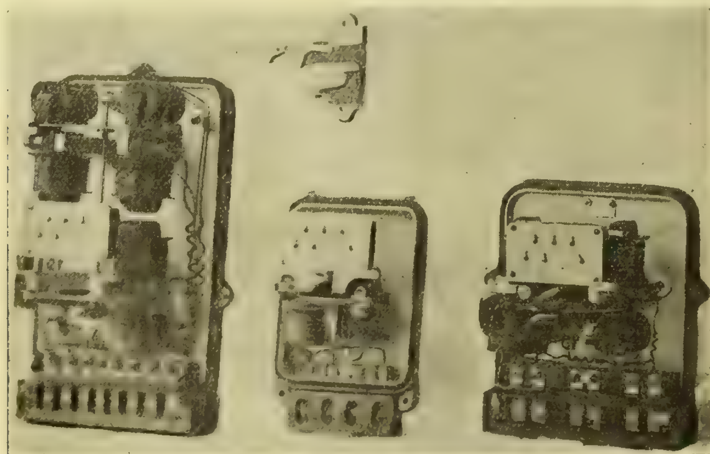


Fig. 45. — Compteurs électriques.

construction; la figure 41 représente différentes pièces employées par cette société dont la plupart rentrent dans la construction des appareils de la figure 42 : le *serre-tête* à un récepteur ou « casque » des téléphonistes, dont

il importait de réduire le poids, cause de tant d'intempestives migraines; et le *microphone de poitrine* (ainsi nommé par la position que lui donne l'opérateur pour parler dans son embouchure), qui est ainsi très allégé.

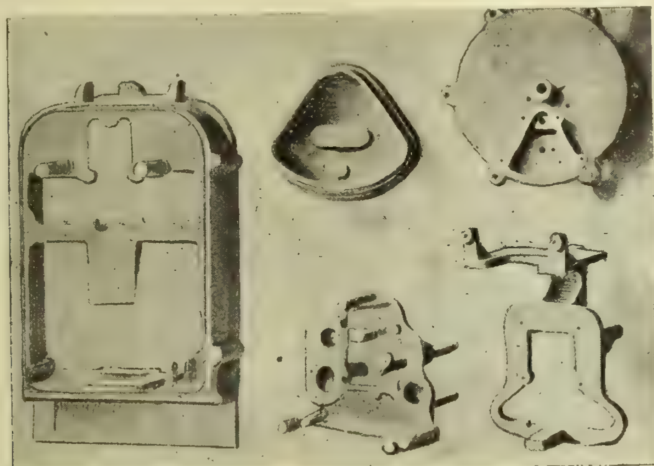


Fig. 46. — Pièces employées sur différents appareils de mesure.

Les *appareils* du matériel Allophone (fig. 43) sont presque entièrement en aluminium, le *pied*, la *colonne* et le *gland* de leur appareil mobile à batterie centrale intégrale, sont de ce métal pour des raisons d'apparence et de netteté

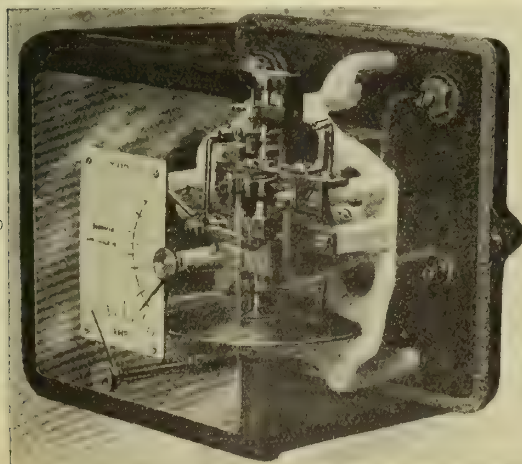


Fig. 47. — Relais sélectif.

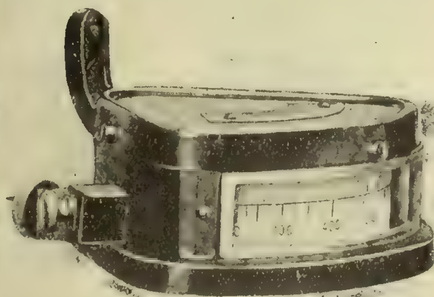


Fig. 48. — Galvanomètre.

de la forme. Le socle et la colonne sont émaillés noir, mais ces pièces peuvent être également polies, comme le montrent les pièces figurées à droite. A signaler, l'intéressante application, par cette maison, de l'aluminium à la

fabrication de la clochette, dite *cloche russe,* d'une jolie sonorité et d'un prix sensiblement inférieur à celui des cloches en bronze.

Théâtre. — L'appareillage de théâtre a aussi admis l'aluminium, dans le rhéostat pour *jeu d'orgue* (fig. 44) servant à produire ces variations insensibles de lumière qui sont à la scène d'un si bel effet. Le socle, le support, le porte-balai et la poulie en sont d'aluminium. Ce rhéostat, construit par la

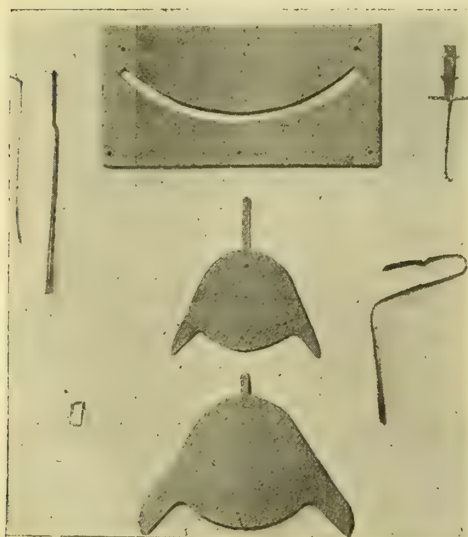


Fig. 49. — Aiguilles indicatrices, fonds de boitiers et plaques de cadrans.



Fig. 50. — Voltmètre à cadran d'aluminium.

Compagnie générale de Travaux d'Éclairage et de Force est aujourd'hui employé dans la plupart des théâtres de Paris.

Compteurs et appareils de mesure. — Les compteurs électriques sont des appareils comportant une quantité de petits organes dont la position relative doit être assurée par des supports de formes contournées et compliquées, percés de nombreux trous et munis de cloisons et bossages produisant des pièces pour ainsi dire sculptées.

Le moulage en coquille de l'aluminium était presque seul à pouvoir donner des résultats convenables. Aussi les pièces d'aluminium sont employées depuis relativement longtemps dans cette industrie, comme on le voit sur les trois appareils de la Compagnie continentale des Compteurs (fig. 45). Le

premier appareil est un compteur pour courant triphasé à 4 fils, 3A, le second pour courant monophasé 10A, le troisième pour courant triphasé

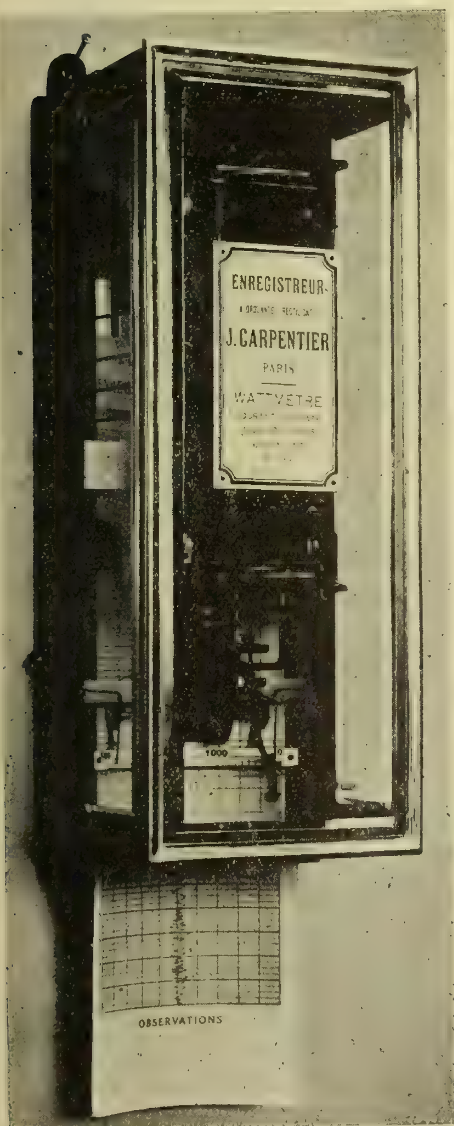


Fig. 51. — Enregistreur Carpentier à socle d'aluminium.

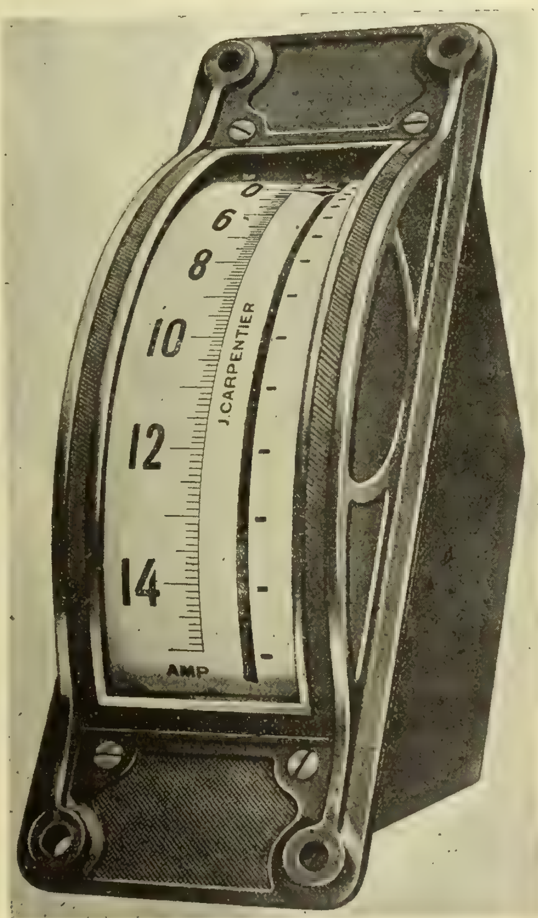


Fig. 52. — Ampèremètre de profil Carpentier à bâti d'aluminium.

neutre non équilibré 5A. Le disque de frein, dont il importe de réduire l'inertie, est en aluminium, ainsi que les cadrans.

La Compagnie pour la Fabrication des Compteurs emploie aussi des pièces de formes très fouillées pour ses bâtis et ses boîtiers, la figure 46 en donne

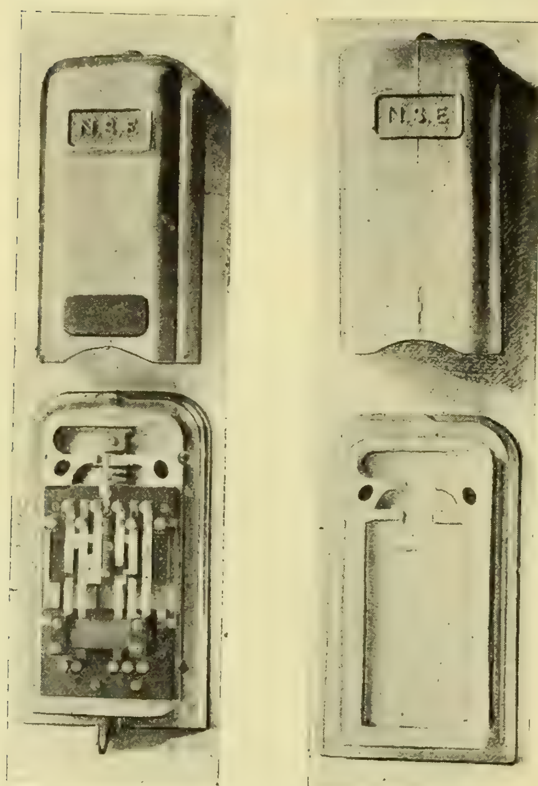


Fig. 53. — Appareil téléphonique à bâti d'aluminium.

quelques exemples. L'une de ces pièces sert de support aux organes d'un *relais sélectif* (fig. 47) devant s'ouvrir moins vite pour une faible surcharge que pour une forte surcharge ou un court-circuit. Le *galvanomètre* (fig. 48), construit par la même compagnie pour indiquer les résultats obtenus dans ses pyromètres, a également un boîtier en aluminium.

La Compagnie pour la Fabrication des Compteurs se sert encore d'aluminium pour les *aiguilles indicatrices* (fig. 49) de ses appareils de mesure, et la légèreté ainsi obtenue en augmente la sensibilité. Diverses pièces découpées réalisent des fonds de boîtiers ou des plaques de cadrans ; la figure 50 représente un *voltmètre étalon* pourvu d'un de ces cadrans. Les appareils de mesure sont dans le même cas que les compteurs pour le soutien de leurs organes. Aussi M. Carpentier a-t-il fait établir, pour son *enregistreur* à ordonnées rectilignes (fig. 51) un socle en aluminium, supportant tout le mécanisme, et sur lequel s'appuie en outre le papier où viennent s'inscrire les variations de courant par une ingénieuse et originale disposition de la plume et de l'aiguille qui la supporte. Cet enregistreur remplace avantageusement, le modèle à cylindre sur lequel on enroule le papier, car l'incertitude de pointé produite par le frottement de la plume sur le papier ainsi que l'inertie de

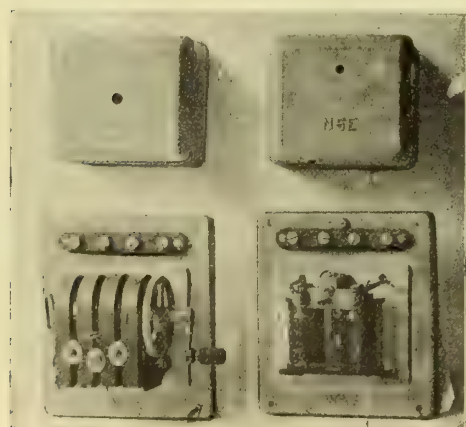


Fig. 54. — Magnéto et relais à capot et socle d'aluminium.

l'équipage sont notablement diminués et il est possible d'obtenir une apériodicité meilleure que dans les autres appareils. Dans la même spécialité des appareils de mesure, les voltmètres ou ampèremètres sont munis de bâtis pour lesquels l'aluminium fondu convient parfaitement. La figure 52 représente l'appareil appelé « de profil » comportant un de ces boîtiers. Ce modèle est fabriqué par M. Carpentier; son encombrement réduit et sa disposition sont souvent préférés dans le cas de tableaux importants de centrales, avec montage sur pupitres.

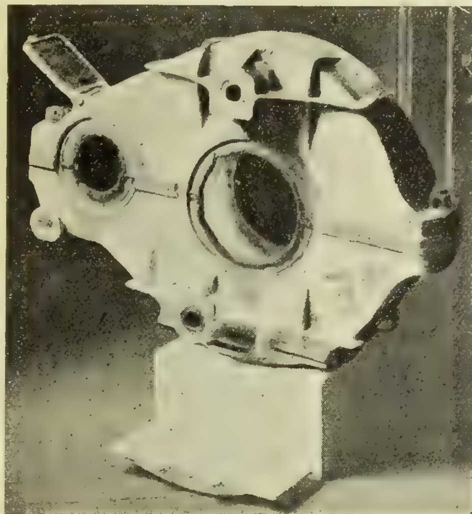


Fig. 55. — Carter en aluminium.

Applications à la traction. — Les grandes compagnies de traction ont aussi adopté l'aluminium pour différents socles et couvercles d'appareils électriques. On ne peut mieux parler de ces pièces que par la note qui a été rédigée par M. Roussel, ingénieur à la Compagnie du Chemin de Fer du Nord, et qui dit : « Nous étudions nos appareils avec l'idée de remplacer, dans la plus grande mesure possible, le cuivre par l'aluminium ou ses alliages; nous espérons que l'industrie de l'aluminium pourra bientôt mettre à notre disposition des alliages pour le décolletage. Nous sommes allés plus loin et avons même envisagé, pour de nombreux appareils, le remplacement de l'ébénisterie par l'aluminium et ses dérivés. Par exemple, nous avons fait établir un *appareil téléphonique* (fig. 53), très robuste, qui peut se placer, même sans abri, aux postes de manœuvre des gares et qui, en tous cas, trouve son application dans les endroits où l'on peut craindre l'eau et l'humidité.

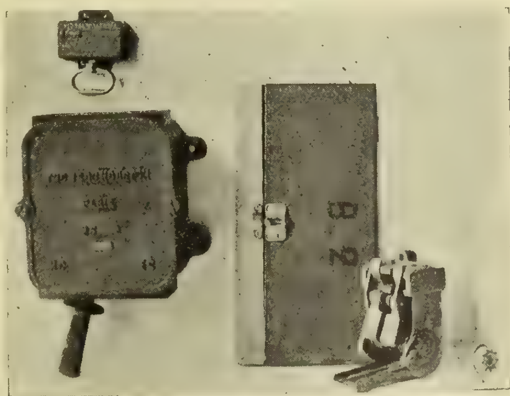


Fig. 56. — Signal d'alarme. Interrupteur, verrou et porte-balai.

Nous exposons également une *magnéto* et un *relais* (fig. 54) pour lesquels

l'emploi du bois a été proscrit. Quand on a affaire à des séries de l'ordre de 1.000, l'aluminium peut concurrencer le bois, et quand les appareils sont retirés du service, on a l'avantage de pouvoir récupérer la valeur du métal. »



Fig. 57. — Aspirateur de poussières.

Voilà une nouvelle application à laquelle on ne songeait guère d'un métal remplaçant le bois pour des raisons d'économie. Cette application a été faite pendant la guerre où le prix du bois était très élevé; mais le bois est encore cher et devant les résultats obtenus, la Compagnie du Nord continue à employer l'aluminium pour ses boîtiers. La Société des Transports en Commun a aussi fait place à l'aluminium dans ses services électriques, pour la construction des boîtiers et des carters. La pièce représentée sur la figure 55, moulée au sable, est un *carter* renfermant les engrenages qui relient le moteur électrique à l'essieu des tramways en démultipliant la vitesse. Ce carter s'oppose au dépôt des poussières et est en outre rempli de graisse pour faciliter l'engrènement. Il est muni d'une porte de visite et comporte une partie facilement remplaçable à l'endroit particulièrement exposé aux chocs de la route, car il est placé sous le châs-

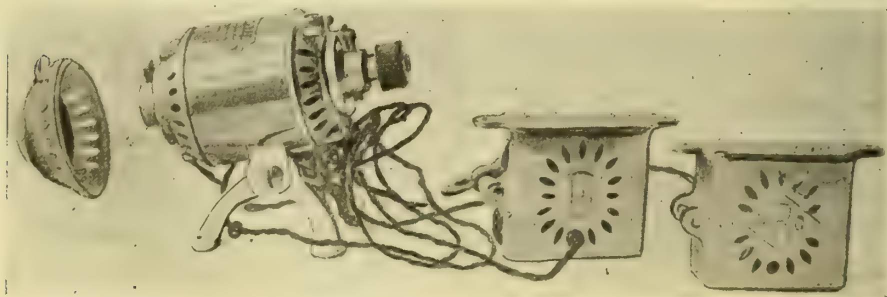


Fig. 58. — Moteur de machine à coudre avec son rhéostat.

sis du tramway à peu de distance du sol. Dans cet exemple, on a choisi l'aluminium pour ses qualités de légèreté et afin de diminuer le poids mort.

Sur la figure 56, on voit un *signal d'alarme*, en service sur les tramways parisiens, et muni d'une poignée en aluminium, d'un aspect très satisfaisant. En cas d'accident, la manœuvre de cette poignée produit l'arrêt brusque du véhicule. L'*interrupteur*, type M. S. 84 a son boîtier en aluminium pour des raisons de solidité. La même société emploie, pour fermer un volet de visite de coupe-circuit de motrice, un *verrou* dont la targette et la gâche sont en aluminium. Le *porte-balai* pour moteur de traction, à droite de la figure, comporte une roue à rochets en aluminium pour le réglage des ressorts appuyant sur le balai.

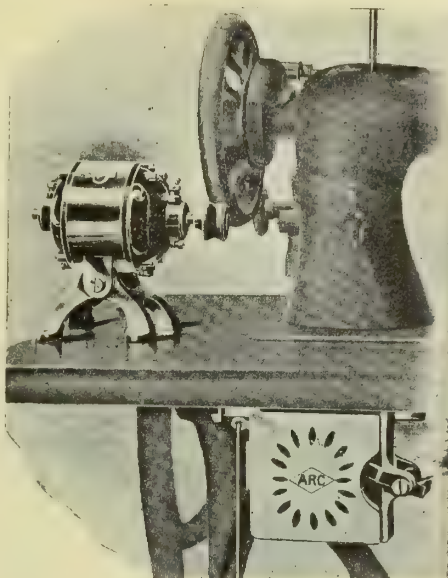


Fig. 59. — Moteur installé sur une machine à coudre.

Applications domestiques. — Les applications domestiques de l'aluminium sont innombrables; mais pour s'en tenir aux appareils électriques, on peut citer comme exemple, l'aspirateur de poussières (fig. 57) aujourd'hui de plus en plus employé dans les appartements pour le nettoyage des tapis et qui va aspirer les poussières dans les meubles et dans les recoins des bibliothèques par des tubulures de forme spéciale. Dans cet aspirateur, l'aluminium est largement utilisé pour plusieurs raisons. Tout d'abord, toujours pour sa légèreté, qui rend l'appareil maniable par un enfant; ensuite pour le bon aspect de son poli. La Société Calor, constructeur de cet « Aspiror », a estimé avec raison que la faveur du public va toujours à ce qui brille; et ainsi les propriétés de l'aluminium sont dans ce cas un puissant élément de succès.

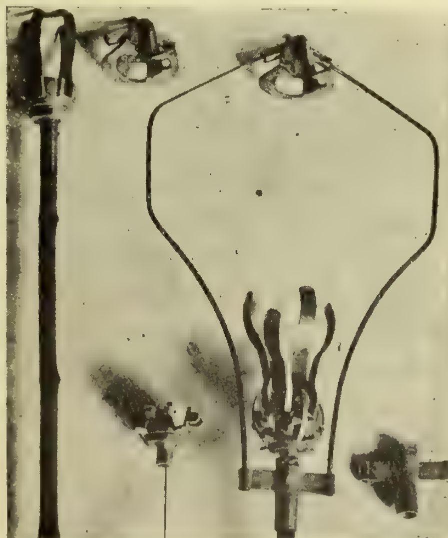


Fig. 60. — Appareil pour la pose et l'enlèvement des lampes électriques.

Les *machines à coudre* sont de plus en plus mues mécaniquement, supprimant ainsi la fatigue des anciennes pédales.

La figure 58 montre un joli *moteur* de 1/12 ch. construit par la Société grenobloise d'Applications électriques, pourvu d'un *rhéostat* et où l'adoption de l'aluminium donne à l'ensemble une excellente allure. La vue d'ensemble (fig. 59) montre comment le moteur oscillant sur son support, donne une adhérence suffisante sur le volant de la machine, qu'il entraîne par friction.

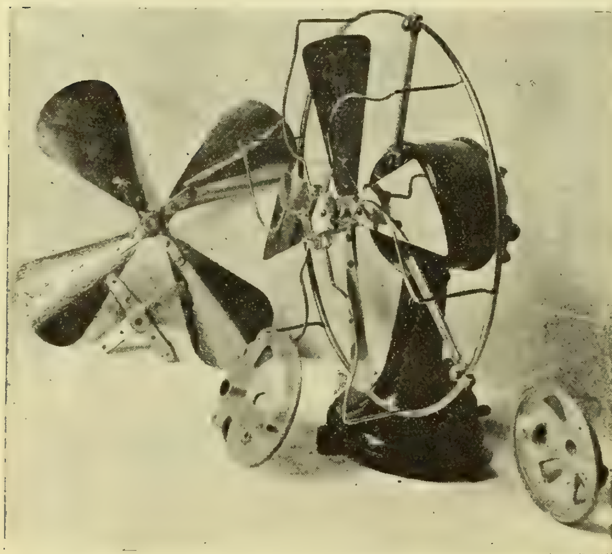


Fig. 61. — Ventilateur avec ailes et flasques en aluminium.

M Quinque, a imaginé un appareil très ingénieux, dont le mécanisme est en aluminium, pour la *pose et l'enlèvement des lampes électriques* suspendues. Cet appareil (fig. 60) rend inutiles les échelles ou marchepieds si incommodes.

Les *ventilateurs de table*, aujourd'hui si répandus et si agréables en été, mettent l'aluminium à contribution ; la figure 70 représente un des élégants modèles de M. Martinot.

Les qualités de l'aluminium se prêtent à tant d'applications que c'est à peine si l'on croit les avoir toutes énumérées au cours de cet exposé peut-être déjà trop long. L'aluminium s'impose par lui-même grâce à ses avantages; mais encore doivent-ils être signalés pour être appréciés. Il va de l'intérêt du consommateur et de celui du producteur que l'aluminium soit encore mieux connu qu'il ne l'est; si la présente conférence peut contribuer à ce résultat, il ne peut qu'en résulter un profit général, dont l'initiative sera toute à l'honneur de la Société « l'Aluminium français ».

C. Zetter,
Administrateur-délégué
de l'« Appareillage électrique Grivolas »

COMPTE RENDU GÉNÉRAL ET CATALOGUE EXPLICATIF DE L'EXPOSITION

Dans une des salles du rez-de-chaussée de l'Hôtel de la Société d'Encouragement furent réunis : les objets historiques, la fabrication du métal, sa transformation en produits industriels, ses principaux alliages, les procédés de soudure et de jonctionnement, ainsi que des spécimens de travaux de chaudronnerie concernant la fabrication de matériel et d'appareils en aluminium.

HISTORIQUE ET FABRICATION

Dans cette salle, on avait placé le buste d'Henri Sainte-Claire Deville. Ce buste, en aluminium, fondu en 1882 par Barbedienne est depuis de longues années la propriété de la Compagnie des Produits chimiques et électrométallurgiques d'Alais, Froges et de la Camargue.

Dans ce stand figuraient des documents appartenant à M. Henry Le Chatelier, et provenant d'une collection de lettres et de rapports originaux de Sainte-Claire Deville. Il faut citer tout particulièrement une note rédigée en 1862 concernant la fonte de l'aluminium, la refonte des rognures, tournures et limailles, le laminage et la fonte en moules de sable; cette note comprend également la fonte, le forgeage et le laminage du bronze d'aluminium. Il est très intéressant de remarquer que les indications contenues dans ce document sont exactement celles qui, actuellement, doivent être suivies pour effectuer les mêmes opérations. Le manuscrit porte en marge un croquis du grand savant représentant le mode de coulée du métal du creuset dans la lingotière, avec toutes les précautions indispensables pour opérer cette opération dans les meilleures conditions et éviter son oxydation à l'air.

A côté de cette note se trouvait un manuscrit de M. Louis Le Chatelier, rédigé en 1862 à l'usine de Nanterre et intitulé : *De l'aluminium et de ses applications industrielles*, document dans lequel M. Le Chatelier rend pleine justice aux efforts de son collègue et ami, et résume les principales propriétés du métal dont il venait d'industrialiser la fabrication.

Étaient également exposés trois brevets originaux, publiés successivement en 1858-1859-1860 et concernant des perfectionnements dans la fabrication de l'alumine; le premier a pour objet la fabrication de l'aluminate de soude et du silicate de soude comme produits intermédiaires; le second indique les conditions les plus favorables de précipitation de l'alumine par l'acide carbonique, ou un bicarbonate alcalin de soude ou d'ammoniaque, par l'emploi d'un acide, d'un sel métallique, ou, d'une façon générale, de toute matière ayant la propriété de précipiter l'alumine à partir d'une solution alcaline; le troisième est la revendication du principe consistant à employer tout mode de précipitation qui, en même temps qu'il fournit l'alumine, donne naissance à une substance secondaire de valeur marchande permettant de couvrir les dépenses de fabrication.

Il faut remarquer que ces trois brevets constituent, dans leur ensemble, les procédés de fabrication de l'alumine suivis depuis cette époque avec les divers détails qui ont été successivement introduits dans cette fabrication.

On pouvait voir à côté de ces documents le premier lingot d'aluminium, pesant

270 g, obtenu par Sainte-Claire Deville, mis gracieusement à la disposition de la Commission par M. Lindet, ancien président de la Société d'Encouragement, ainsi que quelques objets en aluminium, fondus vers 1865, prêtés par M. Henry Le Chatelier : un plateau et un médaillon de Chevreul obtenus par moulage en sable et en état de parfaite conservation ; quelques objets manufacturés : lunettes, médaille commémorative, dé à coudre, etc. (1).

* * *

Les matières premières concernant la fabrication du métal étaient représentées par une collection de bauxites provenant des gisements exploités par la Compagnie d'Alais. A titre documentaire nous donnons les provenances et les compositions de ces échantillons :

Mine de Brau (Var) :

	Échantillons. N° 1.	N° 2.	N° 3.
Al^2O^3	63 p. 100	61 p. 100	67 p. 100
SiO^2	1 —	3 —	12 —
Fe^2O^3	21 —	21 —	3 —

Mine d'Engardin (Var) :

Al^2O^3	63 p. 100	62 p. 100	59 p. 100	60 p. 100
SiO^2	2,50 —	4 —	1 —	0,60 —
Fe^2O^3	19 —	18 —	24 —	23 —

Mine de Parisot. Paradou (Bouches-du-Rhône) :

Bauxite rouge.			Bauxite blanche.		
Alumine	63,50 p. 100	65 p. 100	Alumine	68 p. 100	68,50 p. 100
Silice	2,75 —	2,50 —	Oxyde de fer.	3 —	2,55

Bédarieux (Hérault). Chantiers Carlencas :

	Échantillon communal.	Échantillon Vieulles.
Alumine	61,48 p. 100	64,63 p. 100
Fer	18,83 —	17,99 —
Silice	2,10 —	2,15 —

(1) M. Henry Le Chatelier a bien voulu nous faire parvenir les renseignements complémentaires suivants.

Le plateau porte-cartes, obtenu par moulage et présentant une branche de vigne en relief, avait été décapé à l'acide phosphorique chaud ; depuis soixante ans, ce plateau est utilisé comme coupe à fruits ou comme plateau à cartes de visite ; le métal a conservé tout son éclat et il ne présente pas la teinte grise si fréquente sur les objets en aluminium un peu anciens.

Les brevets sur la fabrication de l'aluminium sont au nom de Louis Le Chatelier, comme d'ailleurs la plupart des brevets de Sainte-Claire Deville. L'Université ne voyait pas toujours d'un très bon œil les occupations industrielles de Sainte-Claire Deville et il se trouvait dans l'obligation de les accuser le moins possible, demandant à ses amis de se mettre en nom à sa place. Ces recherches, comme celles sur la métallurgie du platine, avaient été poursuivies avec des fonds donnés, sur sa cassette privée, par l'Empereur Napoléon III.

Une fois les recherches de Sainte-Claire Deville terminées, quelques-uns de ses amis se groupèrent pour tâcher de créer la métallurgie du nouveau métal. Jacquemart, grand sucrier de Quessy (Aisne), était le financier et le principal bailleur de fonds ; Le Chatelier prenait les brevets et s'efforçait de les négocier à l'étranger ; Meissonier, Ingénieur des Mines, à Marseille, s'occupait de l'exploitation de la bauxite ; Merle et Péchiney, à Salindres, s'étaient chargés de la fabrication, tandis que Paul Morin dirigeait l'usine de Nanterre où l'on transformait le métal pour en faire des objets marchands. Debray et De Mondésir aidaient Sainte-Claire Deville dans ses recherches de laboratoire.

Cette petite société mangea cinq fois son capital, peu important il est vrai, et chaque fois le reconstitua pour ne pas laisser tomber la nouvelle industrie française. Le succès semblait devoir couronner cette persévérance, lorsque la découverte d'Héroult arrêta définitivement la fabrication de l'aluminium par les procédés de Sainte-Claire Deville.

Sur la grande carte murale d'Europe qui se trouve dans le vestibule de la Société d'Encouragement on avait indiqué la situation, par ordre d'importance, des principaux gisements de bauxites.

A côté de ces échantillons qui représentaient les principales variétés des gisements français qui constituent une richesse nationale, dont l'accaparement et les convoitises par nos voisins ont été tant de fois dénoncés, et tout particulièrement dans une brochure que l'écrivain provençal, Marcel Provence, avait mise à la disposition du public, se trouvaient des échantillons d'alumine aux divers stades de sa fabrication obtenus aux usines de Salindres, ainsi que les autres matières nécessaires à la fabrication électrolytique du métal : cryolithe naturelle et artificielle, spath fluor, fluorure d'aluminium, ainsi que des échantillons de nitrure d'aluminium en beaux cristaux aux reflets bleu verdâtre mordoré.



Fig. 1. — Historique. Fabrication. Produits transformés et alliages.
Matériel de chaudronnerie en aluminium.

Des vues panoramiques des principales usines de la Compagnie d'Alais, de la Société de Froges et de la Société d'Electro-Chimie, montraient à la fois leur caractère pittoresque et l'importance des travaux considérables qui ont été nécessaires pour le captage et l'amenée de l'eau aux machines productrices du courant.

La Compagnie des Produits chimiques d'Alais et de la Camargue, ancienne Société Péchiney et Cie (126, rue La Boétie, Paris), possède des usines à Salindres (Gard) (fabrication de l'alumine), Salin-de-Giraud (Bouches-du-Rhône), Eguilles (Vaucluse), Saint-Jean-de-Maurienne, Calypso, Epierre (Savoie), Chedde (Haute-Savoie), Saint-Auban, Sisteron (Basses-Alpes), Auzat (Ariège).

C'est dans les usines de Saint-Jean-de-Maurienne, de Calypso, de Chedde et d'Auzat que cette Compagnie élabore le métal. L'alumine est préparée dans les usines de Salindres et de Saint-Auban.

La Société Electro-Métallurgique française, à Froges (Isère), fondée en 1888, possède des usines à Froges et au Champ (Isère), à La Praz et à Saint-Michel (Savoie), à L'Argentière (Hautes-Alpes), à Gardanne (Bouches-du-Rhône), et des aciéries à La Praz (Savoie) et au Chambon (Loire).

L'alumine nécessaire à ses fabrications est préparée dans l'usine de Gardanne et l'élaboration du métal se fait dans les usines de La Praz, de Saint-Michel, et de l'Argentière.

Elle s'occupe également de la fabrication de matériel de chaudronnerie en aluminium, d'articles culinaires et de ménage dans un atelier spécial de l'usine de Froges.

Ces deux sociétés ont fusionné tout récemment sous le nom de : Compagnie de Produits chimiques et électrométallurgiques d'Alais, Froges et de la Camargue.

La Société d'Électro-Chimie et d'Électro-Métallurgie, anciennes sociétés « d'Electro-Chimie », « La Volta », « Électro-Chimique du Giffre », « des Carbures Métalliques », (2, rue Blanche, Paris), possède les usines de : Saint-Michel-de-Maurienne (Savoie), Saint-Avre-la-Chambre (Savoie), Notre-Dame-de-Briançon (Savoie), Pomblière Saint-Marcel (Savoie), Saint-Jeoire-en-Faucigny (Haute-Savoie), Les Clavaux (Isère), Pierre Bénite (Rhône), Villers-Saint-Sépulcre (Oise), La Barasse (Bouches-du-Rhône), Vallorbe (Suisse), Martigny-Bourg (Suisse).

L'aluminium produit par cette société est élaboré dans les usines de Saint-Michel-de-Maurienne et des Clavaux : c'est également dans cette usine qu'elle fabrique le magnésium et le sodium. Le traitement des bauxites pour alumine est exécuté à La Barasse.

*
* *

Le Conservatoire National des Arts et Métiers avait exposé les modèles des fours employés pour la préparation de l'aluminium par les procédés chimiques : four à chlorure double d'aluminium et de sodium, four à sodium, four à réduction, appareil à chlore, qui étaient exposés dans le même stand.

*
* *

Des lingots de métal, de formes et de poids variés, aux divers titres commerciaux (98-99), (99), (99,5), ainsi que des exemplaires de billettes rondes et carrées pour le tréfilage, et des plaques destinées au laminage, donnaient une idée des produits que les usines d'aluminium fournissent pour la transformation industrielle.

*
* *

On remarquait également dans le même stand une série d'objets appartenant à M. Charpentier-Page, qui a été un des premiers champions des emplois de l'aluminium dans la période laborieuse de ses débuts et qui a contribué à en faire connaître les avantages au moment où ce métal faisait une entrée timide dans les applications industrielles.

L'examen de ces objets détruit certaines objections relatives à l'emploi de l'aluminium. On y trouvait des gamelles et bidons ayant fait retour de l'expédition de Madagascar et en état de parfaite conservation, des gamelles pour l'armée russe fabriquées en 1893 et 1894, des spécimens pour l'armée japonaise pendant la guerre russo-japonaise et dont il a été fabriqué plus de 100.000 pièces par mois, des étuis pour fusils Lebel et pour fusils russes, des balles pour tir réduit et fusils Schneider-Canet, des douilles pour projectiles Hotchkiss de 37 mm, un tambour d'infanterie avec caisse en aluminium, etc.

A côté se trouvait la photographie du torpilleur en aluminium commandé par le Gouvernement français et construit pour son compte à Londres en l'année 1894; ce torpilleur avait une longueur de 20 m, une largeur de 3,10 m et pouvait filer 20,5 nœuds. Son poids en ordre de marche, sans armement, était de 9,5 t.

*
* *

On pouvait voir réunis dans un tableau de M. Kohn-Abrest, directeur du Laboratoire de Toxicologie à la Préfecture de Police, une série d'éléments très intéressants provenant des travaux qu'il a poursuivis sur l'aluminium et qu'il a résumés en 1911 dans ses *Recherches sur l'aluminium.*

Après avoir repris la détermination du poids atomique de l'aluminium, M. Kohn-Abrest avait étudié les divers procédés d'analyse du métal et tout spécialement ceux qui permettent de se rendre compte de son degré d'oxydation. Il entreprit la préparation des chlorures anhydres, chercha à isoler les sous-oxydes, étudia l'action directe de l'azote sur l'aluminium jusqu'à l'obtention du nitrure dont il détermina les propriétés, ainsi que l'action de la chaleur dans le vide sur le métal, constata que la volatilisation

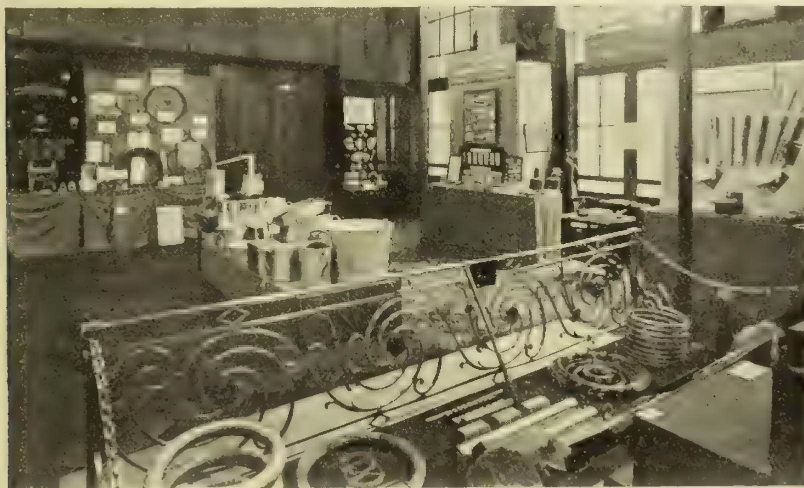


Fig. 2. — Soudure autogène. Bronzes d'aluminium et matériel de chaudronnerie en aluminium.

du métal avait lieu à partir de 1.100° et que cette volatilisation est influencée par la présence du silicium et du carbone. C'est au cours de ces travaux qu'il isola un métal spontanément oxydable à l'air qu'il considéra comme une variété allotropique.

Il y a peut-être dans ces travaux les bases de procédés nouveaux de fabrication et d'affinage de l'aluminium.

*
* *

Ce stand était fermé par une élégante balustrade en aluminium forgé, construite par la Maison V. Verdon (24, rue Saint-Ferdinand, Paris).

PRODUITS TRANSFORMÉS ET ALLIAGES

La Société « l'Aluminium Français » (12, rue Roquépine, Paris) avait envoyé de son usine de Chambéry des spécimens des produits de ses fabrications : plaques de laminage, billettes pour tréfilage, rondes, carrées et hexagonales, tôles, bandes, disques, profilés en aluminium ou en alliages légers.

Cette usine, spécialement outillée pour le laminage après avoir procédé à la refonte des lingots et à leur transformation en plaques de laminage, procède au laminage de ces plaques en vue de l'obtention des tôles qu'elle livre couramment au commerce aux dimensions de 1×2 m. L'outillage perfectionné dont elle dispose et dont des vues photographiques donnaient une idée, permet également le laminage des plaques pesant plus d'une demi-tonne, qu'elle tranforme en tôles de 3 m de largeur sur 8 m de longueur. C'est dans ces tôles que sont découpés les disques qu'elle livre au commerce jusqu'au diamètre de 3 m et dont on pouvait voir des spécimens de diverses grandeurs et de diverses épaisseurs.

Les tôles courantes peuvent être fournies à toutes épaisseurs et à divers degrés de dureté, depuis 10 mm jusqu'à 0,5 mm. Au-dessous de 0,3 mm, d'épaisseur, le métal est livré sous forme de bandes enroulées dont la largeur peut varier de 10 à 400 mm, la longueur atteindra 250 m, et dont des échantillons étaient exposés. Des tableaux muraux permettaient de se rendre compte de la gamme des diamètres, des épaisseurs et des diverses formes des tubes et profilés qui sont couramment fabriqués en aluminium, ainsi que des fils employés spécialement dans les industries électriques, soit simples ou plus généralement torsadés pour la constitution des câbles.

Des collections de rivets en aluminium, à têtes rondes ou à têtes plates, fabriqués dans les usines de l'Aluminium Français à Chambéry, ainsi que des types de tôles de différentes épaisseurs assemblées par rivetage.

L'Aluminium Français avait exposé des gouttières en aluminium utilisées dans les hôpitaux et qui présentent, en raison de leur perméabilité aux rayons X, l'avantage de permettre la radiographie directe des membres sans enlever la gouttière.

Dans le même stand, étaient exposés des spécimens de robinets destinés à la brasserie et aux industries chimiques. Ces robinets sont fabriqués en un alliage spécial d'aluminium au cuivre et au magnésium par les Établissements J. Parant et C[ie] (Sainte-Lizaigne, Indre).

On y trouvait aussi des spécimens de toiles métalliques en aluminium manufacturées par les Établissements Mulatier fils et Dupont (287, avenue Jean-Jaurès, à Lyon).

La Société des Etablissements Charpentier et Vogt (Valdoie, territoire de Belfort), avait envoyé des tôles en aluminium striées pointes de diamant, de son modèle. Ces tôles sont très employées pour le revêtement dans les véhicules, automobiles, wagons, etc.; quelques-unes recouvraient le parquet devant le stand principal.

⁂

La Compagnie française des Métaux (7, rue du Cirque, Paris). Six usines en France, à Givet, Ardennes; — Sérifontaine, Oise; — Saint-Denis, Seine; — Déville-les-Rouen, Seine-Inférienre; — Castelsarrasin, Tarn-et-Garonne. Créée en 1889, pratique la transformation en planches, barres, fils, tubes de tous les métaux, du platine à l'acier.

Cette société à entrepris toutes les fabrications d'aluminium. Elle fabrique actuellement : planches pour emboutisseurs et repousseurs; disques pour ustensiles de cuisine et divers emboutis; planches pour la carrosserie automobile, capots, revêtements, etc.; plaques pour gravures, etc.; tôles rainurées, striées, à pointes de diamant pour marchepieds, fils et câbles pour installations électriques, barres rondes, plates ou profilées; tubes sans soudure; alliages inattaquables aux acides; flans de bronze d'aluminium pour monnaies, miroirs, etc.; papier mince pour produits alimentaires, alliages légers à haute résistance pour avions et automobiles.

La Compagnie française des Métaux a fourni au Nord-Sud son câble en aluminium encore actuellement en usage, preuve de la bonne tenue de ce métal en souterrain, dans une atmosphère humide. D'ailleurs, le câble aérien, monté à titre d'expérience dans l'usine de Givet et exposé aux émanations sulfureuses de la métallurgie du cuivre,

avait parfaitement résisté et serait encore en place, si les Allemands n'avaient trouvé avantageux de l'emporter.

La Compagnie française des Métaux, privée par l'invasion de son usine de Givet, augmenta la production de ses autres usines pour les besoins de la défense nationale, notamment celle de Castelsarrasin. Sa surface couverte passa de 14.000 m² en 1914 à 54.000 m². Le nombre d'ouvriers s'éleva de 400 à près de 4.000.

A l'armistice, le nouvel outillage se trouva inoccupé. Il fut utilisé après adjonctions et modifications, à la fabrication de planches, disques et bandes (150 t par mois). De plus, le matériel spécial destiné à la fabrication du papier d'aluminium fut complété pour produire une dizaine de tonnes par mois.

Enfin cette usine vient de mettre au point la fabrication du bronze d'aluminium qui sera employé pour la nouvelle monnaie divisionnaire. Elle pourra livrer par jour à l'Administration des Monnaies plusieurs tonnes de pièces cordonnées de 8, 4 et 2 g.

Les fils et câbles sont faits dans l'usine de Givet; les tubes, dans celle de Déville.

Cette société exposait dans un panneau, formant croix de Saint-André, des barres rondes, carrées, 6 pans; des tubes de diamètre variant de 20 à 100 mm coupés en biseau, des bottes de fil, des ronds d'aluminium, des viroles emboîtées, des bandes plates à monnaies.

Devant ce panneau, une vitrine contenait quelques profils, des flans à monnaies, les uns découpés dans des bandes sortant du laminoir et faisant valoir la belle tonalité de ce métal; les autres, tels qu'ils sont livrés à la Monnaie, c'est-à-dire recuits, décapés, cordonnés et brillantés.

De chaque côté de la vitrine étaient : 1° des piles de papier d'aluminium très mince, découpé en formats, avec intercalation de papier ordinaire, tel qu'on le livre aux chocolatiers; 2° du gros fil sur deux tourets. Enfin, au pied, étaient des disques d'aluminium pur et de bronze d'aluminium.

*
* *

La Manufacture de barres cylindriques de précision (132, rue du Faubourg Saint-Denis, Paris), présentait des échantillons, barrettes et copeaux des diverses qualités de bronze d'aluminium fabriqués en collaboration par les fonderies Wauthy. Les bronzes Wauthy sont livrés forgés en barres calibrées à 0,02 m ou pièces de forme. La Manufacture de barres cylindriques entreprend avec ces métaux tous travaux de matriçage et estampage. Tous les alliages, énumérés ci-dessous, résistent à l'eau de mer et à certains acides. Les qualités BM, Astra et Triplex sont étamables; ils peuvent tous se forger, se laminer et s'estamper.

		R	E	A
Pour les BM,	B.M.0	40	15	25
—	B.M 1	45	18	20
—	B.M.2	50	20	15
—	B.M.3	55	25	10
—	B.M.4	70	45	10
Pour les BS,	B.S.0	55	20	25
—	B.S.1	60	25	15
—	B.S.2	65	30	15
—	B.S.3	70	35	10
—	B.S.4	75	40	8
Pour les bronzes spéciaux ASTRA,	ASTRA 1	45	18	25
—	ASTRA 2	50	22	15

Ceux-ci sont créés pour répondre au travail de frottement jusqu'à 300°.

Le bronze Triplex R = 85 à 90 . E = 70 A = 10 à 12 possède une résistance de 85 à 90 kg : mm^2 et un allongement supérieur à celui d'un acier Martin de même dureté. Il est très résistant au frottement, d'une belle couleur argent après décapage; il est inattaquable à l'acide sulfurique, à la soude, à la potasse, à l'ammoniaque; il se tourne parfaitement. Les copeaux obtenus avec ce métal donnent toutes les teintes du prisme : jaune au bleu effacé.

La Société des Alliages et Bronzes forgeables (65, rue d'Amsterdam, Paris, et Mouy-Bury, Oise), fabrique des bronzes d'aluminium par les procédés Durville.

La fabrication du bronze d'aluminium est délicate par suite du retrait considérable à la solidification, mais cet inconvénient s'efface devant la difficulté que l'on éprouve à mettre en lingots un alliage sain, c'est-à-dire exempt d'alumine. D'abord l'adjonction de l'aluminium à d'autres métaux en fusion a pour effet de transformer en alumine tous les oxydes du bain, et cette alumine a tendance à rester en suspension dans le bain fondu. En outre, la surface du métal en fusion s'oxyde immédiatement au contact de l'air et se recouvre d'une couche d'oxyde, de sorte que, si la coulée s'effectue sans précaution, cette alumine vient encore contribuer à « empoisonner » le métal.

Les procédés Durville permettent d'éliminer l'alumine, c'est-à-dire d'enlever du même coup tous les oxydes, réalisant ainsi un métal particulièrement pur. La coulée s'effectue sans agitation du métal, et comme la pellicule d'alumine qui recouvre la surface est douée d'une forte tension superficielle, cette particularité est utilisée pour protéger la masse entière contre toute oxydation ultérieure. Enfin, les dispositions adoptées réduisent au minimum les inconvénients du retrait, dégagements gazeux, etc. Les lingots obtenus sont sains et homogènes.

La Société des Alliages et Bronzes forgeables prépare différentes nuances de bronzes d'aluminium. La teneur en aluminium modifie les propriétés de l'alliage. En outre, en remplaçant une certaine quantité de cuivre par du nickel et du fer, on réalise des bronzes à résistance élevée.

Tous ces alliages se travaillent à chaud avec facilité, entre 900° et 600°. Ce qui, avec la non-oxydabilité, même aux températures élevées, permet un estampage de haute précision, réduisant l'usinage au minimum. Le chauffage peut avoir lieu dans une flamme quelconque, et la pièce peut être remise au feu plusieurs fois, sans perte sensible de poids.

La Société des Alliages et Bronzes forgeables avait exposé des produits de fonderie, plateaux de laminage, billettes, têtes et pieds de lingots qui, préparés par les procédés Durville sont sains au sortir de la lingotière, et immédiatement utilisables sans écroutage préalable.

Les procédés Durville s'appliquant à tous les alliages d'aluminium, l'exposition comportait un plateau de duralumin préparé par la même méthode de coulée, et présentant également des surfaces parfaitement saines. Une tête de lingot, coupée au ras de la masselotte, indiquait comment le retrait est réduit au minimum. La section montrait l'homogénéité du métal; elle avait été polie pour faire ressortir sa belle couleur. Deux billettes sur lesquelles on avait enlevé la moitié de la masselotte faisaient ressortir comment l'emploi du procédé Durville réduit au minimum la proportion du poids de masselotte par rapport à celui du lingot.

PRODUITS TRANSFORMÉS

1° **Bronze n° 100** (à **10 p. 100** d'aluminium). — *Barres forgées et laminées.* — Les propriétés mécaniques de cette nuance de bronze d'aluminium ont été récemment vérifiées dans les essais officiels de l'Aéronautique militaire effectués sous la direction du Lieut.-Col. Grard. Elles se modifient avec les traitements thermiques. Sur métal forgé, la

résistance varie de 54 à 80 kg : mm², la limite élastique de 22 à 55 kg : mm², les allongements pouvant atteindre 34 p. 100. L'ensemble des caractéristiques optima a été obtenu par trempe à 900° avec revenu à 675°-700°, soit :

$$R = 58 \qquad E = 33 \qquad A = 17 \qquad \rho = 8.$$

A la température de 350°, ce métal conserve une résistance de près de 50 kg : mm² avec une limite élastique de 30 kg : mm² et un allongement de 15.

Barreaux tournés. — Le métal permet un travail de la plus haute précision, il ne bourre pas sous l'outil et n'encrasse pas la lime.

Pièces brutes d'estampage à chaud. — 1° Moyeu estampé obtenu avec une précision telle que l'usinage définitif serait aussi réduit que possible. Pièce parfaitement saine et homogène dont on peut garantir les caractéristiques mécaniques, ce qui est impossible avec des pièces moulées;

2° Divers coussinets obtenus par estampage. — Les qualités de frottement du bronze à 10 p. 100 d'aluminium sont excellentes. Par trempe un peu au-dessus de 600° suivie d'un revenu un peu au-dessous de 500°, on réalise le grain optimum : « Grains durs très fins et répartis d'une manière parfaitement homogène, enrobés dans un constituant mou et plastique. »

Il a été vérifié que de tels coussinets montés sur moteurs électriques semblent inusables.

3° Guides de soupapes d'échappement qui ont été utilisés par milliers pour moteurs d'aviation, ce qui a permis de vérifier l'excellente tenue du métal sous l'action des gaz chauds.

2° Bronze n° 90 (à 9 p. 100 d'aluminium). — Caractéristiques vérifiées dans les essais de l'Aéronautique militaire :

Brut de forge :	$R = 55,$	$E = 24$	$A = 35$	$\rho = 4,5.$
Trempé à 900°. Revenu à 750°.				
	$R = 54$	$E = 20$	$A = 45$	$\rho = 14.$

Caractéristiques obtenues et maintenues à l'état de recuit complet et non par le procédé artificiel et dangereux de l'écrouissage. Grande stabilité moléculaire, possibilité de chauffer, notamment pour brasure, sans diminuer la résistance mécanique. La brasure est facilitée par le point de fusion : 1,050°.

Ce bronze forgeable est en outre malléable à froid, sur recuit.

Tubes de différents diamètres, tubes coudés à froid, tubes écrasés à la presse à froid et montrant la grande aptitude du métal à la déformation, tubes polis faisant ressortir la beauté du métal (literie).

Résistance à l'oxydation et à l'action de la vapeur surchauffée (tubes de condenseurs). Possibilités de déformation à chaud sans perdre de résistance.

Un tube a été maintenu pendant deux mois à la température de 850°; il a parfaitement résisté, tandis qu'un tube d'acier d'épaisseur double s'est désagrégé.

Résistance à la corrosion (notamment à l'acide sulfurique et à l'action des collodions).

Attaque par l'eau de mer : aucun alliage ne résiste à l'eau de mer aussi bien que le bronze d'aluminium.

Tôles bandes d'épaisseurs variées et présentées sous différents états :

Rubans de 0,5 mm, écroui pour ressorts.

Bandes de 2 mm, recuit et pouvant être embouti à froid (bimbelotterie, boîtes).

Feuilles de 3/10.

Tuiles en 0,5 mm (inoxydables).

Plaques en 5 mm pour couverts et orfèvrerie.

Tôle polie; la dureté et l'homogénéité du métal permettent un poli spéculaire (fabrication de miroirs).

Tôles diverses (appareillage ponr distilleries, sucreries, produits chimiques). La densité des bronzes d'aluminium 7,6 est notablement inférieure à celle des métaux cuivreux courants (8,4 à 8,8) avec des propriétés mécaniques bien supérieures : ce fait permet de réduire les surépaisseurs, l'encombrement, les poids et les prix.

Fils. — Fil machine de 8 mm présenté en couronne de grande longueur obtenue par laminage à chaud en partant de billettes de 95 carré. Ce fil a servi de point de départ pour le tréfilage afin de réaliser les fils de 2 mm et 3 mm exposés, fils inoxydables, pour clouterie, pointerie, agrafes, etc. Le tréfilage peut d'ailleurs être poussé aux plus petites dimensions.

Bronze monétaire, flans de différents diamètres, jetons frappés. — Dès 1909, l'Administration des Monnaies avait envisagé l'emploi du bronze d'aluminium. Mais le métal proposé (à 10 p. 100 d'aluminium) ne fut pas adopté en raison de l'impossibilité de le frapper à froid. (On a exposé un spécimen des essais de frappe à chaud effectués à l'époque.)

En 1920, quand on envisagea le remplacement des coupures divisionnaires par des jetons, la Monnaie fit de nouveau appel à l'expérience spéciale acquise par la Société des Alliages et Bronzes forgeables. Il a été possible de réaliser une nuance de bronze d'aluminium susceptible de se frapper à froid et contenant cependant assez d'aluminium pour que le métal se lamine à chaud et possède une dureté assez grande pour rendre la contrefaçon extrêmement difficile.

Le métal est fourni à l'Administration des Monnaies sous forme de flans prêts à la frappe. Un plateau de laminage en bronze monétaire ainsi que des grilles provenant du découpage des flans figuraient à l'Exposition. Les plateaux sont laminés en bandes — les bandes sont découpées à l'état écroui — les flancs sont ensuite recuits, décapés, cordonnés et enfin avivés pour leur donner leur couleur définitive. Ces diverses opérations, à partir du laminage, sont effectuées par la Société « Les fils de Victor Bidault et C[ie] » (17, rue Lakanal, Paris), dans leur usine de Vitry.

Bronze au nickel. — Ce bronze est à environ 10 p. 100 d'aluminium, mais il contient une certaine proportion de nickel et de fer.

Caractéristiques mécaniques (Essais officiels de l'Aéronautique militaire) :

Brut de forge	R = 76	E = 56	A = 12	ρ = 2.
Recuit à 900°	R = 75	E = 36	A = 26	ρ = 4.

Ce métal ne prend pas la trempe. A partir de 500° le recuit diminue E mais améliore A et ρ pendant que R reste constant. Bronze très dur. La dureté croît avec la température et passe par un maximum vers 200°.

Arbres de différentiel. — Les bronzes d'aluminium présentent, par rapport aux aciers de même résistance mécanique, une résistance double aux efforts de vibrations et de chocs répétés. Ce fait est la conséquence du faible module d'élasticité (environ 1/2 de celui de l'acier).

Un arbre de différentiel identique à celui qui a été exposé, est en service depuis

deux ans sur une voiture de service (de Dion 12 ch.) sans avoir donné lieu au moindre incident.

Une tige de marteau pilon pneumatique Massey de 50 kg est en service à la place d'une tige d'acier rompue.

Capot d'alternateur. — Les capots d'alternateurs sont destinés à retenir les enroulements de rotors d'alternateurs de grande puissance. Ils doivent être faits en un métal forgé, parfaitement sain et homogène, d'une haute limite élastique en raison des efforts centrifuges considérables. De plus le métal doit être amagnétique; cette qualité a été vérifiée sur les bronzes de la Société des Alliages par des essais effectués au Laboratoire central d'Électricité. Il est alors possible d'employer le bronze d'aluminium à très haute résistance à la place des aciers à 25 p. 100 de nickel.

Bronzes d'aluminium pour refusion. — L'emploi des bronzes d'aluminium est intéressant pour les moulages. Malgré les difficultés spéciales à ces métaux, notamment malgré leur retrait considérable, les praticiens habiles obtiennent d'excellents résultats. Au cours de sa conférence du 21 mai, M. Guillet a présenté des pièces parfaitement saines « en ce bronze admirable », selon sa propre expression, fabriquées d'après ses indications et sous sa haute direction aux Établissements de Dion.

La Société des Alliages exposait des lingots préalablement préparés et affinés avec les soins nécessaires, et destinés à être refondus pour moulages, qui sont d'un emploi facile et donnent lieu au minimum de pertes.

ALLIAGES LÉGERS A HAUTE RÉSISTANCE

Duralumin. — La Société du Duralumin (3, rue de La Boétie, Paris); deux usines : Kremlin-Bicêtre (Seine), Courtalin (Seine-et-Marne). Fondée en 1912, transforme l'aluminium en tubes, barres, profilés, planches, bandes et fils, et fabrique le duralumin, dont elle avait exposé des échantillons de tubes, barres, profilés, tôles, bandes, pièces forgées et fondues matricées, poutrelles employées à la construction des aéroplanes, pièces diverses.

Le duralumin, de densité 2,8, possède les propriétés de l'acier doux : $R = 40$, $E = 24$, $A = 20$.

Pendant la guerre la Société du Duralumin a contribué à doter notre cinquième arme d'une flotte aérienne puissante. La production dépassait 100 t par mois, soit plusieurs milliers d'avions dont certains, comme les Bréguet, presque entièrement en duralumin.

L'outillage de la Société comporte des presses dont certaines atteignent une puissance de 1.000 t.

Il est certain qu'actuellement la fabrication française du duralumin ne le cède en rien à celle des Allemands.

AÉRONAUTIQUE MILITAIRE

L'Aéronautique militaire avait exposé un certain nombre de pièces de dirigeables, en duralumin, provenant des ateliers de Chalais-Meudon. Les aérostiers militaires se sont préoccupés de l'emploi du duralumin dès l'apparition de ce métal et c'est même l'un des officiers de Chalais-Meudon, le capitaine Letourneur, qui fit à la Société du Duralumin, en 1913, la première commande de profilés exécutée par cette société. Le capitaine Letourneur a construit depuis 1914 une dizaine de dirigeables souples et dans la construction des nacelles et des plans d'empennages de ces ballons, il n'est entré presque que du duralumin.

Les éléments présentés à l'Exposition étaient en majeure partie des pièces de rechanges de ces dirigeables, usinées depuis 1914 jusqu'en 1918. Toute la charpente est en profilés, assemblés par des goussets avec rivets en duralumin. Les plans d'empennages sont constitués par des longerons en U allégés par évidement des ailes, des nervures en T et emboutis, rivés; un tube rond limite le bord du plan. Beaucoup de pièces accessoires sont également en duralumin, des poulies de commande et des fûts de tendeurs pris dans la barre, des pièces de fixation en tôle pliée, des ventilateurs constitués par des ailettes embouties rivées à des flasques en tôles, etc.

En 1919, le capitaine Letourneur étudia un hélicoptère captif dont la réalisation n'a pas été poursuivie, mais des éléments avaient été construits et en particulier des longe-



Fig. 3. — Stand de l'Aéronautique militaire.

rons d'hélices en forme de poutre en caisson, constitués par des cornières et des tôles découpées, le tout rivé avec des rivets en duralumin : un de ces longerons figurait à l'Exposition.

Toutes ces constructions montrent que l'emploi du duralumin a été étudié depuis de longues années à Chalais-Meudon et en particulier le problème du rivetage a été résolu en 1915 dans cet établissement.

On pouvait voir dans la même partie de l'Exposition des portions de poutrelles de différentes dimensions construites en 1917-1918 par les Établissements Schneider, pour le grand dirigeable rigide S.2 destiné à la marine. Ces poutrelles en duralumin présentent des analogies avec celles qui étaient employées pour les zeppelins.

M. Bréguet exposait, à côté des photographies de son grand aéroplane type XX, un volant, une pompe et un coussinet en magnésium, ainsi que des assemblages, engrenages, bras de levier, éléments de planches, etc., en duralumin.

Les Établissements Potez étaient représentés par des nervures d'ailes en duralumin pour avions types VIII et X. Pour le premier type, la nervure est constituée par des fers en U entretoisés par des rectangles emboutis et allégés par une fenêtre centrale; les rivets sont en aluminium. La nervure du type X est formée de fers en U entretoisés par des tubes aplatis aux extrémités et rivés en cuivre. M. Potez exposait d'autres pièces en duralumin de son avion type X : une portion de longeron constitué par un assemblage de fers en U formant double T, avec rivets en cuivre, et un berceau de moteur constitué par deux plaques assemblées, avec pliage à l'équerre dans les évidements pour renforcement des tôles. Les rivets sont également en cuivre.

M. Wibault avait envoyé une nervure de son avion de bombardement de 600 ch. Cette



Fig. 4. — Stands du Laboratoire de l'Aéronautique et de la Société du Duralumin.

nervure, de construction très soignée, et entièrement en duralumin, est formée de deux tubes reliés par des entretoises en tubes aplatis aux extrémités; les assemblages sont faits par des colliers rivés à l'aluminium.

*
* *

Le Laboratoire de l'Aéronautique de Chalais-Meudon avait exposé divers spécimens de profilés et tubes de duralumin employés en aéronautique; profilés à section en T, à section en U ainsi que toute une gamme de tubes à section dite *torpedo*.

Le stand contenait également une série de viroles prélevées dans des tubes de duralumin, viroles ayant été soumises à des essais de compression et d'évasement. La photographie n° 1 représente quelques-uns de ces spécimens : A, éprouvette de compression prélevée dans un tube cylindrique de duralumin de 75 à 80 mm de diamètre; cette éprou-

vette a supporté une charge maximum de 1.900 kg : sous cette charge s'est formé un bourrelet circulaire très régulier qui n'a criqué que lorsque son diamètre extérieur a atteint 90 mm (éprouvette B); D, éprouvette de compression prélevée dans un tube cylindrique de duralumin de 67,70 mm de diamètre; cette éprouvette a supporté une charge de 11.000 kg et s'est plissée en forme de triangle équilatéral sans qu'il se produise de crique du métal.

La photographie n° 2 représente des éprouvettes soumises à l'essai d'évasement sur cône à 45°. La première, prélevée dans un tube de 58,60 mm a supporté un évasement de 15 p. 100; la seconde, prélevée dans un tube de 26,28 mm a atteint un évasement de 13 p. 100.

Le Laboratoire avait exposé des micrographies montrant au grossissement 225 la struc-

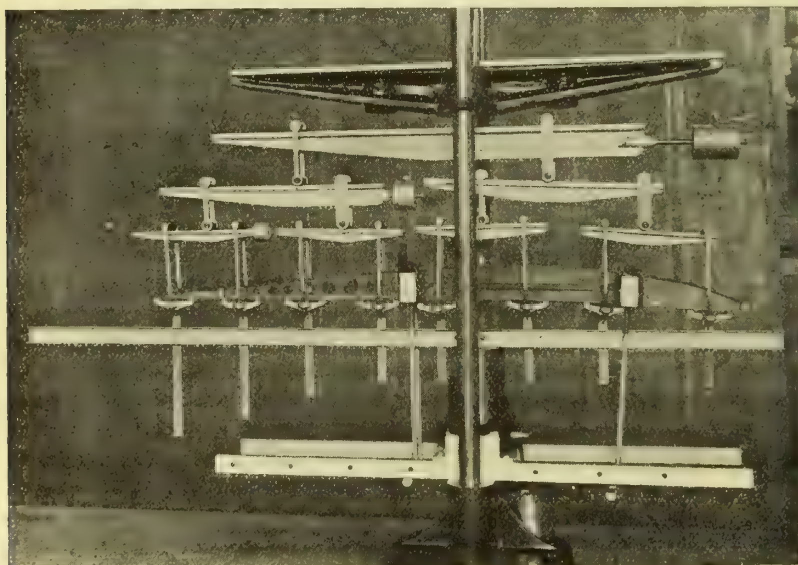


Fig. 5. — Appareil pour l'essai des nervures d'avions.

ture de divers spécimens d'aluminium, de duralumin, de bronzes d'aluminium ayant subi divers traitements; des éprouvettes de duralumin prélevées dans des pièces employées dans la construction des avions et essayées au Laboratoire. Les résultats obtenus indiquaient des charges de rupture variant de 38 à 45 kg : mm² avec des allongements compris entre 16 et 26.

Le Laboratoire avait exposé un appareil pour l'essai des nervures à la flexion statique (fig. 5), appareil destiné à être monté sur une machine d'essai ordinaire et à répartir les efforts sur la face inférieure des nervures d'une façon analogue à celle qui résulte de la pression de l'air durant le vol. Les efforts sont exercés sur la nervure au moyen de 8 étriers donnant 16 points de contact avec celle-ci; ces étriers en aluminium fondu sont suspendus à toute une série de palonniers dont les bras ont des longueurs déterminées par la construction géométrique; ils sont également en aluminium fondu et ont une section en forme de T; leur profil longitudinal a été établi de manière que leur résistance à la flexion soit égale en tous points. L'ensemble de ces palonniers a permis de répartir sur des nervures des charges dont le total dépassait 200 kg, sans qu'il ne se produise de fléchissement appréciable dans les palonniers.

Des réglettes graduées sont suspendues aux étriers, elles s'appliquent sous la nervure, leur déplacement vertical devant un index constitué par un profilé en duralumin s'encastrant dans le bâti inférieur de la machine d'essai, permet de mesurer les flèches prises par la nervure en ses différents points, en fonction des charges qui lui sont imposées.

L'emploi de l'aluminium fondu pour la fabrication des palonniers de cet appareil qui doit avoir une grande sensibilité, a permis, par l'économie de poids réalisée sur chaque palonnier, de réduire dans de grandes proportions l'inertie de l'ensemble de l'appareil et d'avoir des contrepoids aussi faibles que possible, ces contrepoids étant nécessaires pour le bon équilibrage des palonniers, dont certains ont des bras très inégaux.

*
* *

La participation de l'Aéronautique à l'Exposition organisée par le Capitaine Hirschauer et par M. Dollfus, délégués à cet effet par le Sous-Secrétariat d'État à l'Aéronautique, jointe à la Conférence du Lieutenant-Colonel Grard, montre tout l'intérêt que les Services de l'Aéronautique ont attaché à cette manifestation.

FONDERIE

Moulages en coquilles. — La Fonderie des Établissements de Dion-Bouton (36, quai National, Puteaux), avait exposé des coquilles accompagnées de pièces brutes de fonderie coulées dans ces coquilles. Elles ont été choisies soit parce qu'elles présentent des particularités intéressantes au point de vue de la construction ou de la coulée, soit parce qu'elles montrent les progrès réalisés depuis relativement peu de temps dans le moulage en coquille et l'orientation vers laquelle tendent les fabrications nouvelles.

L'aluminium prend en effet de jour en jour une importance croissante dans la construction automobile ; nombre de pièces faites il y a quelque temps encore, soit en fonte, soit en acier, soit en bronze, sont faites aujourd'hui en aluminium ; certains coussinets et paliers, les pompes à huiles, les sabots de frein, les pistons, pour ne citer que ces quelques exemples, sont coulés maintenant en alliages d'aluminium. Et c'est évidemment au moulage en coquille que l'on a recours, car il permet, non seulement d'obtenir une grande quantité de pièces en série, mais encore d'avoir un métal tout à fait sain et des pièces ne demandant, par la suite, que très peu d'usinage.

Les coquilles exposées par la fonderie de Dion-Bouton ont été fabriquées chez MM. Dechâtre et Coste, au Pré-Saint-Gervais.

1° *Dynamo démarreur, palier côté collecteur.* — La forme intérieure de la cage et les faibles sections des bras peuvent faire croire *a priori* qu'un noyau en sable est indispensable à la coulée de cette pièce en coquille ; la solution plus économique du noyau métallique, avec parties démontables et système de démoulage facile et rapide fut néanmoins adoptée ; elle permet d'obtenir des pièces exemptes de criques et d'un bel aspect intérieur. Une bague en acier est noyée dans la pièce à la coulée même.

2° *Dynamo démarreur, palier côté commande.* — Comme la précédente, cette coquille comporte un noyau métallique formant l'intérieur de la pièce ; aucune partie démontable n'est nécessaire ici, et pour éviter les criques, il suffit de démouler très rapidement.

Une bague en acier est encore noyée dans la pièce à la coulée ; mais tandis que dans le palier côté collecteur, cette bague repose sur une embase ménagée dans la coquille, elle doit, dans le cas présent, être maintenue à une certaine hauteur du fond ; pour cela, le noyau est traversé par un cylindre à l'intérieur duquel se trouvent deux griffes que l'on

fait sortir par un excentrique et qui maintiennent la bague dans la position qu'elle doit occuper ; après coulée, il n'y a qu'à tourner l'excentrique pour faire rentrer les griffes et libérer la bague.

3° *Piston de 70.* — La forme intérieure du piston ne permettant pas l'emploi d'un noyau métallique, le noyau est fait ici en sable. Deux broches traversant les chapes font venir de fonderie les trous des deux bossages. La partie du piston la plus saine devant être le fond, le piston est coulé le fond dans le bas. Le centrage et la mise en place du noyau sont assurés au moyen d'une portée tronconique munie d'un repère; cette portée vient se poser dans la partie supérieure de la coquille qui épouse exactement sa forme.

4° *Tableau d'éclairage, partie supérieure du couvercle.* — C'est une plaque de 4 mm d'épaisseur présentant sur sa face vue des lettres et un quadrillage très serré en relief; la pièce étant coulée à plat, cette face dans le bas, les lettres et le quadrillage viennent d'ailleurs très bien de fonderie. L'autre face comprend une rangée de cinq bossages de hauteurs et de diamètres différents, refroidis au moyen de broches traversant le noyau métallique qui les forme. Il faut couler cette pièce du côté des bossages pour éviter la retassure, et tout en coulant, il faut incliner la coquille de manière que le métal monte bien en nappe horizontale et chasse l'air au fur et à mesure de son arrivée ; sinon la pièce est garnie de trous.

5° *Collier de la vis de commande d'accélérateur.* — C'est une pièce très simple et facile à couler, ne présentant que la particularité intéressante suivante : la venue de fonderie d'un trou à l'intérieur duquel se trouve un fort pas de vis obtenu au moyen d'un noyau que l'on dévisse de la pièce lorsque celle-ci est solidifiée.

6° *Boîte de remplissage d'huile pour moteur 4 cyl. 70. 130.* — Cette pièce offre exactement la forme d'une poire creuse coupée en son milieu perpendiculairement à l'axe. Un noyau métallique d'une seule partie ne pourrait pas se démouler; on a tourné la difficulté en faisant un petit noyau central sur lequel viennent s'appuyer six parties démontables épousant la forme intérieure de la pièce ; celle-ci étant coulée et démoulée, les parties démontables tombent d'elles-mêmes, deux d'entre elles, plus petites et diamétralement opposées, offrant une dépouille suffisante vers l'axe de la pièce pour tomber les premières.

PIÈCES FONDUES

La Compagnie parisienne de Fonderie (Anciens Établissements de Fleury et Labruyère, 15 et 17, avenue de Versailles, Choisy-le-Roi) exposait une série de pièces d'aluminium fondues en sable et en coquille, parmi lesquelles on remarquait un gros palier de ventilateur pesant 193 kg, des assemblages, des bielles, des pistons d'aluminium pour automobiles et d'autres pièces en mouvement, telles que navettes de filature, poulies bielles, etc.

Cette Compagnie applique l'aluminium et le magnésium aux pièces en mouvement, afin de diminuer l'inertie de ces pièces et dans tous les cas où les pièces doivent avoir de la « section » et un moment d'inertie maximum, pour un poids minimum, c'est-à-dire dans le cas des rotors de ventilateurs, des poulies de scies à rubans, figurant à l'Exposition, chacune de ces pièces pesant 55 kg environ.

Cette compagnie exposait aussi des bielles, pistons et un carter d'avion en magnésium; pesant 45 kg, ce qui représente une économie de poids de 25 kg par rapport à l'aluminium.

Les Etablissements Montupet et Cie (11, boulevard Lannes, Paris); usines à Nogent-

sur-Oise, près Creil (Oise) et à Nanterre (Seine) fabriquent par moulage mécanique des pièces diverses, notamment pour l'automobile et l'aviation.

Son exposition comprenait de gros carters pour camions et des carters pour voitures, des moulages pour moteurs d'aviation, dont un montrant la coupe d'un groupe de quatre cylindres, moteur Hispano-Suiza qui a été exécuté à 80.000 exemplaires pendant la guerre. Le nombre de garnitures de moteurs d'aviation fabriquées par cette maison pour les besoins de la défense nationale et des Alliés a été de près de 50.000. Elle exposait aussi une carrosserie torpedo en aluminium fondu, sur châssis Delahaye 15 ch dont les avantages principaux sont : une diminution de 50 kg par rapport à une carrosserie bois de même importance; une solidité beaucoup plus grande qu'une carrosserie en bois; la facilité de remplacer la peinture par une couche d'émail résistant aux agents atmosphériques. Cette nouvelle fabrication est appelée à remplacer à bref délai les procédés actuels pour les carrosseries fabriquées en grande série.

Les Fonderies et Forges de Crans (à Cran-Gevrier, près Annecy (Savoie) et 82, boulevard Haussmann, Paris), avaient exposé des pièces d'aluminium moulées en sable et en coquille pour l'automobile, l'aviation, la quincaillerie, des échantillons de planches d'aluminium, disques, bandes en uni et en strié.

Cette société a été une des premières, il y a une quinzaine d'années, à s'occuper de la fonderie et du laminage de l'aluminium.

La Maison Mercier, 28, rue Garibaldi, le Pré-Saint-Gervais (Seine), exposait un assortiment de pièces fondues qui, sans aucune retouche, présentaient un très haut degré de perfection.

Les Etablissements Blanchaud frères, 141 à 145, boulevard Voltaire, Asnières (Seine), avaient exposé des pièces fondues en aluminium et en alliages ultra-légers de magnésium, ainsi que des aspirateurs de poussière.

SOUDURE DE L'ALUMINIUM

La soudure de l'aluminium est de la plus haute importance, ce mode de jonctionnement étant très employé dans la construction du matériel pour les industries de fermentation : brasserie, distillerie, laiterie, fromagerie, et les industries chimiques. De la résistance mécanique et chimique des soudures dépend la bonne conservation, et par conséquent la durée de ce matériel.

L'Office central de l'Acétylène et de la Soudure autogène (104, boulevard de Clichy, Paris), d'accord avec la Chambre syndicale de la Soudure autogène, avait organisé un stand qui comportait de nombreux échantillons de pièces de toutes formes et de toutes épaisseurs assemblées par soudure, ainsi que des tableaux très instructifs.

Un poste de soudure pour démonstration a fonctionné pendant toute la durée de l'Exposition; la soudure était réalisée à l'aide d'un chalumeau oxy-acétylénique. Les visiteurs ont pu se rendre compte de la simplicité avec laquelle la soudure autogène peut être réalisée sur l'aluminium de toutes épaisseurs.

De nombreuses éprouvettes ployées, tordues ou cassées, ou ayant été soumises à des épreuves de corrosion, permettaient de se rendre compte de la résistance des soudures, lorsqu'elles sont exécutées en suivant les prescriptions indiquées pour ce mode de travail.

Le Laboratoire de la Chambre syndicale de la soudure autogène avait exposé les premiers résultats de ses travaux actuellement en cours qui font espérer que, dans un avenir peu éloigné, on pourra éviter toute corrosion des Soudures. Un tableau reproduisant des empreintes de dureté sur l'aluminium et ses alliages, comparées à celles que donnent divers métaux usuels. Ce travail est dû à M. Le Grix, qui dirige actuellement les travaux métallographiques de laboratoire de la Chambre syndicale de la Soudure autogène.

Sous une forme objective très intéressante, un autre tableau montrait les différentes

étapes de l'apprenti soudeur sur aluminium, depuis ses débuts jusqu'à l'obtention de soudures parfaites.

Le personnel de l'Office central de l'Acétylène et de la Soudure autogène, constamment présent pendant l'Exposition, a donné aux nombreux visiteurs qui suivaient les expériences, des renseignements très complets sur tout ce qui se rapporte à la soudure de l'aluminium et de ses alliages.

Les Etablissements Odam et Cie (131, rue d'Avron, Paris), dont le directeur, M. Paul Odam, a étudié la soudure autogène et la brasure de l'aluminium, présentaient des échantillons de poudre décapante. La réalisation des bonnes soudures dépend en effet en grande partie de la composition de ce flux. A côté de ces échantillons se trouvaient quelques spécimens de soudures à divers stades sur du métal de différentes épaisseurs.



Fig. 6. — Applications de l'aluminium en électricité.

Les Etablissements Maurice Ledoux et Cie (10, place du Vieux-Marché, Bordeaux), avaient exposé des échantillons de poudre à souder l'aluminium, des baguettes de brasure pour la soudure des carters, des lunettes en aluminium, à aération pour soudeurs autogènes, ainsi qú'un collecteur en aluminium soudé.

Les Etablissements Alexandre (7, rue des Guillemites, Paris), exposaient leur soudure « Métal Ferragos », pour l'aluminium et ses alliages : elle permet de travailler à basse température sans réchauffage et sans emploi de poudre spéciale.

La Société commerciale Franco-Britannique (11 bis, rue Nouvelle, Paris), présentait la soudure « Allufix », très employée en Angleterre.

Soudure « Alumina » (22, rue de la Pépinière, Paris), représentée par MM. Sanfuentès et Carvalho, agents pour la France (24, avenue Kléber, Paris).

M. A. Coindet (137, avenue Gambetta, Paris) : Soudure « Pour aluminium » pour emploi à la lampe, au chalumeau ou au fer à souder.

APPLICATIONS DE L'ALUMINIUM EN ÉLECTRICITÉ

Les applications de l'aluminium en électricité avaient été groupées dans une salle de l'entresol.

Au centre se trouvaient exposés plus d'une centaine d'appareils réunis par les soins

de M. Zetter, administrateur délégué des Établissements Grivolas et décrits par lui dans sa conférence ; nous nous bornerons à donner l'énumération des établissements qui avaient exposé :

Appareillage électrique.

Gaiffe, Gallot et Pilon, 150, rue de Lourmel, Paris.
La Métallurgie électrique, 14, rue Taitbout, Paris.
L'Appareillage électrique Grivolas, 16, rue Montgolfier, Paris.
Pairard, 94, rue Saint-Lazare, Paris.

Chauffage électrique.

Appareillage électrique Grivolas, 16, rue Montgolfier, Paris.
Compagnie générale de Travaux d'éclairage et de force, 23, rue Lamartine, Paris.
Clin et Cie, 29, rue Corbeau, Paris.
Le Matériel, 21, rue d'Edimbourg, Paris.
G. Goisot, 10, rue Bélidor, Paris,

Magnétos.

Appareillage électrique Grivolas, 16, rue Montgolfier, Paris.

Moteurs et dynamos de faible puissance.

Ragonot, 13, route de Montrouge, Paris.
Martinot, 178, boulevard Voltaire, Paris.
Volet, 20, avenue Daumesnil, Paris.
Japy, Beaucourt (territoire de Belfort).
Vilco, 150, boulevard Montparnasse, Paris.

Télégraphie sans fil.

Gaiffe, Gallot et Pilon, 150, rue de Lourmel, Paris.

Téléphonie.

Société industrielle des Téléphones, 25, rue du 4-Septembre, Paris.
Le Matériel Allophone, 88, rue de Cormeille, Levallois.

Théâtre.

Compagnie générale de Travaux d'éclairage et de force, 23, rue Lamartine, Paris.

Compteurs et appareils de mesure.

Compagnie continentale des Compteurs, 9, rue Pétrelle, Paris.
Compagnie pour la Fabrication des Compteurs, 16 et 18, boulevard de Vaugirard, Paris.
J. Carpentier, 20, rue Delambre, Paris.

Applications à la traction.

Compagnie des Chemins de fer du Nord (services électriques), 16, rue de Dunkerque, Paris.

Société des Transports en commun, 53 *bis*, quai des Grands-Augustins, Paris.

Applications domestiques.

Société Calor, 200, rue Boileau, Lyon.
Compagnie Thomson-Houston, 11, rue de Londres, Paris.
Société grenobloise d'Applications électriques, 18, rue de Strasbourg, Grenoble.
Quinque, 18, rue Garibaldi, Saint-Ouen.
Martinot, 198, boulevard Voltaire, Paris.

Dans cette même salle un grand panneau, outre les appareils présentés par la Société d'appareillage électrique Grivolas (11 et 16, rue Montgolfier, Paris), montrait des pièces de fonderie pour appareillage, chauffage, des magnétos monoblocs, des appareils de mesure, et tout spécialement deux remarquables collections : la première, de supports ou douilles de lampes à incandescence indiquant toutes les phases de leur fabrication, des fusibles, etc.; la seconde, de pièces décolletées, vis, écrous, obtenus avec l'alliage d'aluminium au zinc indiqué par M. Guillet et dont M. Zetter a signalé l'intérêt pour les travaux de décolletage.

L'Aluminium français avait exposé des photographies des principales lignes de transport d'énergie en aluminium :

Entreprises générales Électriques et Industrielles, G. Giraudon (8, place de la Madeleine, Paris) : ligne de Pont-à-Vendin à Wasquehal (Nord et Pas-de-Calais), 45,000 v, câbles aluminium 125 mm² : perspective de la ligne à 6 conducteurs; — ligne à 6 conducteurs sur poteaux ciment; — traversée de canal avec ligne à 6 conducteurs; — ligne à 12 conducteurs; — perspective de la ligne à 12 conducteurs sur pylônes métalliques; — traversée de voie ferrée avec ligne à 12 conducteurs.

A. Legrand et P. Munich, entreprises électriques, 32, place Saint-Georges, Paris; — ligne Valenciennes-Lille, 45 000 v, câbles d'aluminium de 125 mm².

Compagnie du Chemin de fer Métropolitain de Paris : équipement en câbles et barres de la galerie de la Motte-Picquet.

Compagnie du Chemin de fer Nord-Sud de Paris : câbles électriques aluminium de 500 mm².

Le Sud Électrique à Avignon : tableau de distribution.

Compagnie générale d'Entreprises électriques (20, rue du Laos, Paris) : ligne Douai-Valenciennes.

Desaulty (92, rue Richelieu, Paris) : ligne Hirson-Beautor.

Société hydro-électrique de l'Eau d'Olle (4, rue d'Aguesseau, Paris) : vues des lignes installées par M. Dusaugey et dont cet ingénieur a donné la description dans sa conférence.

L'Aluminium Français avait exposé un tableau réunissant des spécimens de fils, câbles en aluminium et câbles à âme d'acier, joints confectionnés avec manchons de serrage, différents modèles de ligatures sur isolateurs, types de jonctionnement de conducteurs de tableaux et de barres, raccordements de câbles et de barres, raccordements de gros câbles, raccordements de conducteurs aluminium sur cuivre, outillage pour la confection de manchons torsadés, etc.

La brochure éditée par l'Aluminium français, *L'aluminium en électricité*, ainsi que les divers rapports de M. Dusaugey présentés à l'Union des syndicats de l'Électricité, et les conférences faites à l'Administration des Postes et Télégraphes, étaient mis à la disposition des visiteurs de l'Exposition.

Les Établissements P. Pairard (94, rue Saint-Lazare, Paris), ont présenté :

1° Un isolateur de 65.000 v sur lequel était fixé un conducteur aluminium-acier de 188 mm² de section, spécimen de l'installation du réseau d'État. Au droit de l'isolateur, le conducteur est protégé par deux demi-coquilles en tôle d'aluminium serrées sur le câble par deux bloc-pinces, sortes d'étaux à un boulon étamé. Ces bloc-pinces possèdent

deux oreilles percées qui reçoivent les extrémités d'un collier en acier galvanisé embrassant la tête de l'isolateur dans sa gorge et le serrant, grâce à un ridoir qui permet de remédier aux différences de diamètre. Le collier se termine à l'une de ses extrémités par une corne qui a pour but de protéger le conducteur en cas de décharge statique amorçant un arc avec la ferrure support;

2° Des manchons de raccordement pour câbles en aluminium avec âme d'acier, constitués par deux manchons concentriques à coincement. Le manchon central sert à raccorder l'âme d'acier, il est lui-même en acier dur, et le manchon extérieur, en aluminium, jonctionne les fils d'aluminium. On obtient ainsi, d'une façon relativement simple, la solution d'un problème qui paraissait assez malaisé. Ces manchons sont utilisés, notamment, sur le réseau d'État (120.000 v) établi, comme on le sait, en câbles aluminium-acier 37 fils de section totale 188 mm²;

3° Des raccords cuivre-aluminium de diverses formes mais tous de même principe,



Fig. 7. — Applications de l'aluminium en électricité.

qui consiste à mettre à l'abri de l'air, de l'humidité et de tous agents oxydants la jonction des deux métaux, afin d'empêcher le couple électrique qui se produirait au détriment de l'aluminium et de la qualité du contact. Ce principe est le suivant : la partie aluminium possède un trou borgne fileté, la partie cuivre possède un têton fileté également au même pas. A la base du têton, se place une rondelle isolante qui fait joint mécanique entre l'aluminium et le cuivre lorsqu'on visse le têton dans son trou borgne. Le joint est donc aussi simple que possible et le contact électrique qui se fait par les filets est complètement à l'abri. Il va de soi que les parties cuivre et aluminium affectent la forme la plus appropriée au problème à résoudre : raccord par cosses, raccord par câbles, raccord de câble et barre, etc. Ces raccords sont employés : à la Compagnie du Métropolitain de Paris, dans ses galeries humides; — aux réseaux d'État; — à l'Union d'Électricité;

4° Des têtes de ligatures à étrier servant à créer un point de fixation qui ne blesse pas le câble d'aluminium lors de l'attache sur l'isolateur. A cette fin, le câble est serré, par l'intermédiaire d'un étrier en acier galvanisé, entre deux pièces d'aluminium appropriées, l'une servant de coussinet au câble et l'autre de chapeau où viennent prendre appui les écrous de l'étrier pour le serrage;

5° Des manchons plats à trois boulons et cravates à un boulon pour la liaison parallèle de deux câbles d'aluminium. Le manchon permet une liaison assurant un bon contact électrique en même temps que capable d'un travail mécanique. La cravate sert simplement à la liaison de câbles jumelés, dans une traversée de chemin de fer par exemple.

APPLICATIONS DE L'ALUMINIUM DANS LES INDUSTRIES DE TRANSPORTS

Outre son emploi dans la construction des moteurs, dans l'industrie automobile et l'aviation, l'aluminium tend à se substituer aux autres métaux dans la fabrication d'une grande quantité d'accessoires que les Compagnies de transports s'efforcent d'utiliser.

La Société des Transports en commun de la région parisienne (53 *ter*, quai des Grands-

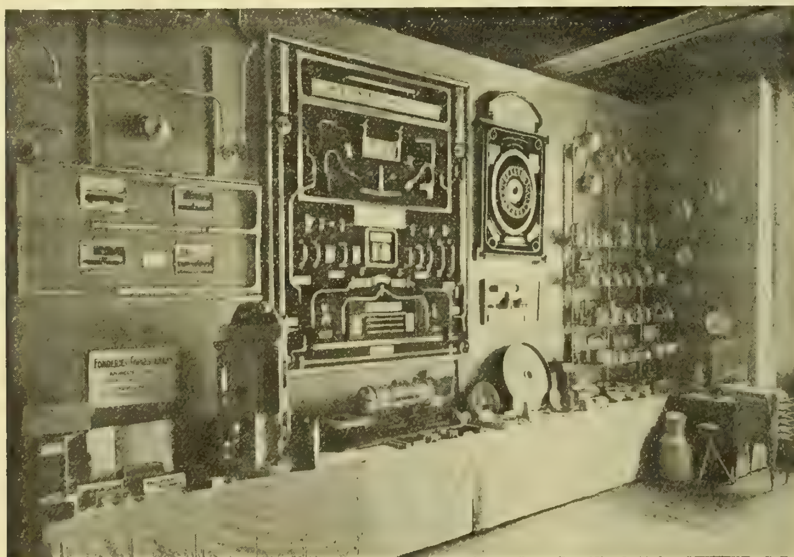


Fig. 8. — Applications de l'aluminium dans les transports et dans le ménage.

Augustins, Paris), avait exposé des modèles d'archet, mains-courantes, châssis de glace et profilés employés dans la construction de ses voitures; un modèle des chaufferettes en métal fondu avec tubulures, pour l'arrivée et le départ des gaz d'échappement, utilisées pour le chauffage des tramways et autobus. Des photographies de ces voitures montraient la disposition de ces accessoires dans les véhicules, ainsi que le panneautage extérieur des autobus en tôle d'aluminium peinte.

La Maison A. Coindet (137, avenue Gambetta, Paris), avait exposé en un tableau les pièces qu'elle fournit à la Société des Transports en commun dans la région parisienne, le Métropolitain, le Nord-Sud, etc. : châssis de glace, rampes, poignées montoires, poignées de portes, accoudoirs de banquettes, lève-glaces, équerres, etc. Ces pièces étaient présentées, soit en aluminium poli (usage courant), soit en aluminium nickelé (articles destinés à être très souvent tenus en main), soit encore en aluminium doré ou argenté (articles où le luxe doit s'allier à la légèreté).

Les Établissements A. Girel (61 à 67, boulevard Victor, Paris), avaient exposé un modèle de wagon-réservoir en aluminium, pour voie ferrée. Ces wagons-réservoirs bitronconiques sont généralement construits en tôle épaisse sur : 1,994 m de diamètre aux extrémités et 5,724 m de longueur totale; ils peuvent transporter tous les liquides neutres (alcools, vins, benzine, éther, huiles, essences, etc.).

APPLICATIONS DE L'ALUMINIUM DANS LES INDUSTRIES DE FERMENTATION : BRASSERIE, DISTILLERIE, ETC., LA LAITERIE, LA FROMAGERIE ET LES INDUSTRIES CHIMIQUES

Les Établissements A. Girel (61 à 67, boulevard Victor, Paris), présentaient des modèles réduits de :

1° Un tank de brasserie de 150 hl, diamètre, 2 m., hauteur, 4 m., éprouvé 1,6 kg : cm^2. Cet appareil est muni d'un trou d'homme et de six embases en aluminium, soudées sur le fond inférieur, pour recevoir les têtes des vérins de soutien;

2° Un appareil exécuté pour la Compagnie Nationale de Matières colorantes et de Produits chimiques et composé de :

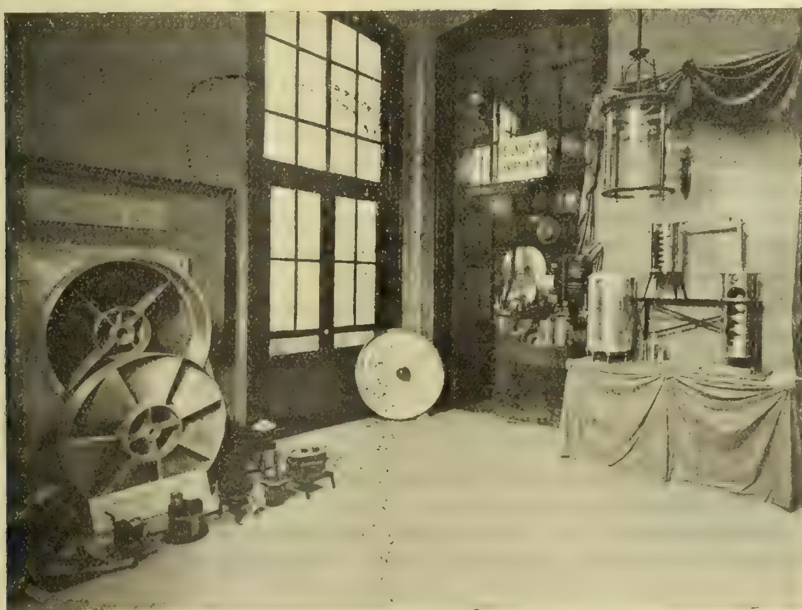


Fig. 9. — Pièces fondues de la Compagnie parisienne de Fonderie et modèles d'appareils des Établissements Girel.

1 chaudière de 800 mm de diamètre et 2 m de hauteur, munie d'un serpentin de 14 spires en tube d'aluminium de 30 mm;

1 colonne en aluminium de 1 m de hauteur et 160 mm de diamètre, avec coude et col de cygne aboutissant à un serpentin de 8 spires en tube de 40 mm;

1 cuve en aluminium avec tubulures et accessoires pour le logement du serpentin ci-dessus;

des supports de l'appareil.

Ces établissements, spécialisés dans la chaudronnerie soudée en aluminium, exécutent des tanks de brasserie, des cuves fermées avec ou sans pression, des réservoirs, des malaxeurs avec mouvement d'agitation en aluminium, des colonnes à distiller, des canalisations, tuyauteries, robinetteries, raccords, etc.

Pendant la guerre, ils ont exécuté des travaux importants de chaudronnerie d'aluminium pour la Direction des Poudres et ont fourni notamment toutes les tuyauteries en tôle d'aluminium destinées à la fabrication de l'acide nitrique synthétique dans nos poudreries.

Les Établissements E. Odam fils (131, rue d'Avron, Paris), avaient présenté des modèles de cuves à levain, des accessoires de brasserie, ainsi qu'un modèle d'alambic pour distillation dans le vide.

La Société d'appareillage et Forges de Villers-Cotterets (26, rue Cadet, Paris, et Villers-Cotterets), s'occupe de chaudronnerie d'aluminium depuis 1909. Elle avait exposé du petit matériel de fermentation pour la brasserie (écumoire, raclette, seau à levain, seau à aérer, entonnoir de soutirage, cuillière à levure, arrosoir, etc.); des capsules de laboratoire, des attaches pour câbles électriques, un châssis de glace et un pot à acide nitrique. Un album de photographies représentait quelques-uns des appareils qu'elle a construits grâce à son expérience de la soudure autogène de l'aluminium. Elle avait pu déjà, avant la guerre, construire : des foudres et des cuves pour la brasserie, des serpentins et des autoclaves pour l'hydrogénation des huiles et la fabrication de produits chimiques; des appareils à reflux et à distillation dans le vide, des chaudières à double fond pour les corps gras, des moules à fromage et des ustensiles de laiterie, des appareils spéciaux pour la soie artificielle, le celluloïd, les matières colorantes, etc.

Elle a construit notamment en grande partie l'équipement d'une fabrique d'acide nitrique synthétique consistant en : des canalisations allant jusqu'à 1,20 m de diamètre; des réservoirs de 415 hl; des wagons-citernes éprouvés au vide et à la pression, obtenus par soudure autogène de tôles ayant jusqu'à 18 mm d'épaisseur.

La Société fabrique en outre tous les ustensiles de ménage en aluminium.

La Société des Établissements métallurgiques de la Gironde (60, rue Jouffroy, Paris, et à Bordeaux), fabrique tous articles de ménage en aluminium, emboutis, repoussés ou fondus (production mensuelle : plus de 100.000 objets) et notamment des bidons à lait de 30 l, en aluminium, emboutis d'une seule pièce sans aucune soudure. Elle a imaginé et elle a construit une queue isolante, constituée par un tube de laiton fixé dans une embase en aluminium fondu. Elle a développé la production des pièces d'aluminium fondu en coquille d'acier, à bords polis et à surface sablée.

Parmi les pièces d'aluminium fondu qu'elle a exposées, signalons ses trois modèles de poulie :

Poulie à bras de 300 mm de diamètre et de 1,580 kg;

Poulie à bras folle avec coussinet bronze, de 300 mm de diamètre et de 2 kg;

Poulie à trois gradins de 300, 210 et 128 mm de diamètre et de 4,750 kg. Cette Société produit en outre des disques, planches et bandes d'aluminium, ainsi que des plateaux de laminage.

Les Établissements « l'Aluminium laminé » (63, quai de Valmy, Paris), avaient présenté des spécimens de leur fabrication de poudres et papiers d'aluminium et d'objets pour usages culinaires et domestiques, en aluminium et aluminium plaqué cuivre, ainsi que du matériel de laiterie.

Ce matériel, dû à l'initiative de son Directeur, M. Drouilly, est appelé à remplacer celui en fer étamé dont on connaît les inconvénients. Son emploi se rattache à un projet concernant un mode économique de distribution du lait au consommateur, qui garantit la pureté et l'asepsie du lait distribué.

M. Drouilly construit un pot, embouti d'une seule pièce dans de la tôle de 3 mm, renforcé par trois frettes de même épaisseur, serties à chaud, pourvu de deux fortes anses en tôle d'aluminium fortement rivées sur les deux frettes supérieures. Ce pot, dit « pot de Paris », d'une contenance de 20 l, pèse environ 3,500 kg (7,500 en fer étamé); il supprime 4 kg de poids mort par 20 l de lait transportés, soit près de 20 p. 100 des frais de transport. Ce pot fait d'un métal récupérable ne coûte d'ailleurs vraiment que les trois quarts de son prix d'achat, car M. Drouilly offre, à une époque quelconque, un pot neuf contre quatre pots ayant eu des accidents graves et devenus inutilisables. Pour obtenir plus de solidité, l'inventeur propose de placer sur son disque inférieur un troisième fond en bois qui lui permettrait de résister à tous les chocs. Le couvercle de ce pot est fixé à la frette

du collier par une chaîne en aluminium à maillons soudés électriquement. La forme en champignon du couvercle permet d'éviter les contaminations et rend impossible des prélèvements ou des mouillages en cours de route.

M. Drouilly présentait en outre des boîtes à lait pasteurisantes, de 1 et 2 l, qui pourraient être utilisées depuis le filtrage consécutif à la traite jusqu'au moment où le lait est consommé. Sitôt remplies, ces boîtes sont bouchées hermétiquement, pasteurisées une seule fois à 105°, ou trois fois à 70°, à vingt-quatre heures d'intervalle, puis brusquement refroidies. Les boîtes sont ensuite placées par 6 ou par 12 dans des caisses à claire-voie du genre des caisses de bouteilles à bière. Transportées rapidement, elles peuvent être distribuées aux consommateurs par les moyens les plus divers. M. Drouilly envisage le dépôt de ces boîtes chez les concierges des immeubles, ce qui permettrait une distribution très rapide entre 7 et 8 h. Au moment du dépôt, la valeur de celui de la veille serait encaissée et les emballages vides seraient repris. L'économie des frais de boutique permettrait de donner une légère rémunération aux concierges chargés de la distribution aux locataires et des encaissements partiels.

La pasteurisation empêcherait les concierges de courir aucun risque, le procédé de bouchage rendant impossible tout prélèvement et toute addition, et il suffirait d'avoir confiance dans la laiterie d'où proviendrait le lait pour être certain de la qualité du produit consommé.

Les pots et boîtes à lait, brevetés par la Société de l'Aluminium Laminé, sont en aluminium pur, inattaquable par le lait : ils sont emboutis et retreints mécaniquement; tous les couvercles sont interchangeables. Ils ne présentent donc ni soudure, ni rivet, ni aspérité intérieure d'aucune sorte, ce qui facilite leur lavage à la laiterie, avant remplissage, par des procédés mécaniques qui assurent une propreté absolue.

M. Drouilly exposait également des biberons métalliques construits en deux parties, réunies par une bague sertie que l'on casse à la main à l'endroit de la languette, comme les capsules d'eau de Vittel. L'herméticité est obtenue par un joint plat en caoutchouc de la qualité du caoutchouc des tétines, et le goulot est fermé par une capsule métallique. Ces biberons peuvent contenir 150 g de lait et il suffit de perforer la capsule supérieure pour fixer la tétine au goulot. Ils sont incassables et permettent la pasteurisation et le refroidissement brusques. Ils sont recommandés pour les pouponnières, garderies d'enfants, ainsi que pour les voyages ou déplacements.

POUDRES ET PAPIERS D'ALUMINIUM

La Société française de Métallurgie et de Mécanique (82, boulevard Haussmann, Paris), qui possédait à Ferrière-la-Grande (Nord) des usines détruites pendant la guerre, et qui sont actuellement en voie de reconstruction, exposait des spécimens de sa fabrication de papiers d'aluminium.

Les Établissements l'Aluminium Laminé (63, quai de Valmy, Paris), des échantillons d'aluminium laminé en feuilles extra-minces utilisées comme papier à chocolat et à thé, ainsi que de l'aluminium en poudre de diverses finesses utilisé spécialement pour la fabrication des peintures et vernis.

Les Établissements Durand et Jacquet (21, rue Bichat, Paris), avaient mis à la disposition de la Commission de l'Exposition un écran métallisé à la poudre d'aluminium, installé par leurs soins dans la salle des conférences et sur lequel ont été faites toutes les projections. Ces écrans donnent une luminosité plus grande et ils sont très avantageux en cinématographie.

La Compagnie française de Papiers métallisés « l'Orol » (96-98, boulevard National, Ivry-Port) : échantillons de papiers métallisés à l'aluminium et colorés.

Compagnie française des Métaux (7, rue du Cirque, Paris) : échantillons de papiers d'aluminium.

OBJETS DE CUISINE ET ARTICLES DE MÉNAGE

La Commission de l'Exposition avait décidé de ne faire figurer dans cette manifestation qu'un nombre très restreint de ces objets, les locaux ne permettant pas d'organiser des stands séparés pour tous les exposants qui auraient pu y prendre part.

Un certain nombre d'objets sélectionnés permettaient au visiteur de se convaincre qu'autant en ce qui concerne la solidité que l'élégance, les articles en aluminium peuvent concurrencer ceux fabriqués avec d'autres métaux.

La Société Électro-métallurgique Française avait présenté un assortiment de casseroles, bouilloires, cafetières, corbeilles à pain, poissonnières, pots à crème, soupières, seaux, cuvettes, grandes bassines à lait (dont une de 64 cm et de 128 l), marmites (dont une de 62 cm et de 170 l avec son couvercle), boîtes martelées.

La Manufacture métallurgique de Tournus (Tournus, Saône-et-Loire), présentait : des bouilloires de 1 à 5 l, des cafetières de 1 à 2 l, des marabouts de 0,5 à 2 l, des pots à crème, des pots à eau, des cuvettes, des casseroles à bec, des corbeilles à pain, des égouttoirs de cuisine. Les articles culinaires de cet établissement sont pourvus d'une monture isolante avec mode de serrage de la poignée et anneaux tournants qui permettent un usage d'une durée illimitée. C'est elle qui fabrique les objets signalés par M. Guérin dans sa conférence : une braisière ovale de 0,45 m $\times$ 0,36 m avec couvercle et anses en bronze pesant 11 k; une marmite de 100 l avec couvercle et poignées de bronze de 50 cm de diamètre, pesant 23 k; toutes deux obtenues par emboutissage de disques de tôle d'aluminium de 5 mm d'épaisseur.

PROCÉDÉS DE RECOUVREMENT

Les procédés de recouvrement de l'aluminium ont pour but de le protéger de l'action des agents extérieurs : humidité, eau, air salin, etc., et de l'action de certains réactifs dans des conditions spéciales.

Vernis, émaux et laques. — Les Établissements F. Hervé et Cie (150, rue Victor-Hugo, Levallois-Perret), avaient exposé des pièces en aluminium recouvertes d'émail « Mélanite » : volants de direction, poignées, tubes et autres accessoires pour l'automobile et l'électricité. Ces émaux possèdent les colorations les plus variées, leur poli est admirable, ils sont insensibles à l'eau et à l'humidité : leur solidité et leur adhérence sur le métal sont parfaites.

La Maison Plancq (4, rue du Buisson-Saint-Louis, Paris), exposait des disques, tubes, boîtes diverses en aluminium, recouverts d'émail mat ou brillant « Fix ». Cet émail, d'un très beau poli, est complètement insensible à l'eau et à l'humidité.

J. Filhol, ingénieur (60, rue Molière, Lyon), exposait des échantillons d'aluminium (tôles et tubes) recouverts de bakelite.

La Société d'Expansion coloniale (19, rue d'Aumale, Paris), présentait des objets recouverts de laque indo-chinoise. L'emploi de cette matière a fait l'objet d'une communication à la Société d'Encouragement, de la part de M. Verneuil, directeur technique de cette société(1). Les visiteurs ont pu se rendre compte de l'adhérence et de la solidité du revêtement, ainsi que de son insensibilité complète à la plupart des réactifs chimiques.

Procédés galvaniques. — Divers objets (phares d'automobiles, couverts de table, manches de couteaux, objets fondus et de quincaillerie, en aluminium pur ou en alliages d'aluminium, nickelés, dorés ou argentés par les procédés de M. J. Canac (10, avenue du Petit-Chambord, Bourg-la-Reine, Seine), étaient exposés, soit à l'état brut de nickelage, soit brillantés après polissage. Ce procédé permet la soudure à l'étain des pièces nickelées ou sur d'autres métaux, ainsi que leur étamage.

(1) Voir le *Bulletin* de février 1921, p. 179.

L. Renard et C[ie] (15, avenue Émile-Zola, le Parc-Saint-Maur), Le « Laitonium », présentait des petits objets nickelés, dorés, cuivrés ou argentés, quelques-uns très artistiques, avec des reliefs sur lesquels apparaissent les diverses nuances obtenues par ce procédé qui, suivant l'inventeur, peut remplacer la gravure sur aluminium; une bombonnière en aluminium décorée or et argent; un tableau en aluminium fondu, reproduction de la Grande-Chartreuse, décoré vert français, et différentes autres pièces en aluminium cuivrées, argentées ou dorées.

La Société française d'Applications industrielles de l'Aluminium et des Matières plastiques (Thonon-les-Bains, Haute-Savoie), fabrique notamment des peignes et des chauffe-pieds en alliage spécial et procède à leur nickelage. A la demande de l'Aluminium français, elle a procédé au nickelage d'une grande tôle de 1 m² qui constituait un véritable miroir dont les visiteurs ont pu admirer le brillant et le poli.

Ébonitage. — La Société française de la Viscose (16, rue du Louvre, Paris), exposait des petites essoreuses en aluminium recouvertes intérieurement d'ébonite et utilisées dans les usines de cette société. Une de ces pièces, coupée par le milieu, permettait de se rendre compte de l'épaisseur de la couche d'ébonite et de son adhérence parfaite sur le métal.

Métallisation. — La Société de Métallisation (48, boulevard Haussmann, Paris), créée pour l'application des procédés Schoop, exécute tous les travaux de métallisation (zincage, plombage, étamage, cuivrage, aluminage, laitonnage, nickelage) dans ses ateliers de Paris et de la province. Ces procédés ont été décrits dans la conférence de M. Guérin, et le même jour, la Société de Métallisation a bien voulu procéder, devant le public, à des essais d'aluminage sur divers métaux ou sur d'autres matières (bois, papier, verre, etc.), ainsi qu'à des essais de cuivrage, laitonnage, zincage de l'aluminium. Des échantillons des travaux exécutés par cette société étaient réunis dans un tableau à côté de notices explicatives indiquant les avantages des procédés de métallisation.

APPLICATIONS DIVERSES

Les Établissements Lespinasse (Irigny, Rhône), présentaient des appareils utilisés pour la fabrication de soie artificielle dont voici la description succincte :

La viscose, à la sortie de la filière, passe dans le petit bac à filière où elle est immergée dans le coagulant et devient fil de soie, puis, par un dispositif d'appareils en verre actionnés par des cames, ce fil monte sur le cylindre où il est enroulé et laisse dans le carter de cylindres son excès de coagulant. Ce coagulant récupéré, ainsi que celui en excès dans le bac à filière, se déverse dans le grand bac récepteur sur pieds, qui, par sa tubulure d'évacuation, le transmet au bac récepteur voisin; puis, de proche en proche, par un filtre entonnoir, dans une canalisation qui le conduit à un grand bac dans lequel ce coagulant est renové et d'où il reprend son cycle.

Ces appareils récepteurs de coagulant qui ont été construits pour le compte d'une société de soie artificielle, sont en service depuis plus d'un an et donnent entière satisfaction. Cinq rampes de filages, soit au total 100 filières, sont munies de ces appareils en aluminium pur. D'autre part, des bacs, réservoirs, filtres, bidons, cylindres, etc., en aluminium pur sont en service dans cette usine. Tous ces appareils ont remplacé des appareils en plomb qui avaient le désagrément d'être très lourds à la manipulation, et plus coûteux que les appareils en aluminium.

La Société d'Usinage mécanique (1, rue du Printemps, Paris), exposait un assortiment de paumelles, ferrures de portes et de fenêtres, verrous, porte-manteaux, poignées de tiroirs, etc., en aluminium poli ou mat, usinés et remplaçant avantageusement les mêmes objets en fer ou en laiton.

La Société anonyme « Marqcol » (125, rue des Garceaux, Moulins-sur-Allier), avait exposé une poulie porte-lame supérieure de scie à ruban. Ces poulies peuvent être sans

ou avec frette d'acier à la jante, le durcissement du métal étant obtenu par compression mécanique. Elles mesurent 1,10 m et tournent à 700 tours par minute. L'aluminium semble très avantageux pour cette application, car il permet d'obtenir la légèreté nécessaire et les voiles pleins donnent plus de rigidité à la jante pour résister aux fortes tensions des lames. En outre, les voiles pleins réalisent une économie de force motrice, car aux grandes vitesses les bras forment ventilateurs.

Maison Rogalle (10, rue Villeneuve, Toulouse) : modèles de roues fondues en alliage d'aluminium adaptables sur moyeux de voitures Fiat, des roues à jante amovible résistantes et indéformables, facilitant la manœuvre au moment du remplissage de la partie amovible et réduisant à son minimum le poids supplémentaire à transporter en prévision des crevaisons. De plus, les boulons de fixation étant plus éloignés du centre supportent, en transmettant une puissance égale, un effort moindre, ce qui évite l'ovalisation des roues ménagées pour leur passage, assure un centrage parfait et un serrage régulier.

La roue à jante démontable permet de remplacer sans efforts et sans déformation des talons les pneumatiques et de faire sans difficulté le montage des bandages divers.

Les moyeux à roulements à billes obtenus par moulage d'un alliage ayant sensiblement la même composition que celui employé pour la roue, offrent les avantages d'un montage facile et de pouvoir être utilisés en toutes dimensions, suivant la charge du véhicule sur lequel ils doivent être adaptés.

M. Rogalle exposait également des fers à chevaux en un alliage d'aluminium suffisamment malléable et élastique pour être ajusté à froid et pour donner au pied une surface d'appui relativement grande, tout en diminuant en même temps les risques de glissades dangereuses.

La Maison J. Blin (109, rue Oberkampf, Paris), n'avait pu placer que quelques spécimens de meubles en aluminium. L'exiguïté des locaux n'avait pas permis de mettre les ameublements entiers d'une chambre « Directoire » comprenant : lit, armoire, table de nuit; d'un cabinet de toilette composé de : lavabo, armoire à linge et coiffeuse; ou d'une chambre d'hôtel avec lit, penderie, table de nuit et lavabo, dont les photographies étaient exposées. Toutefois, les personnes intéressées par ce mode de construction étaient invitées par l'exposant à voir ces mobiliers entiers dans ses ateliers.

Un bureau de dame et une psyché exposés permettaient de se rendre compte de l'élégance de ces meubles hygiéniques et confortables. Ces meubles présentent les avantages du bois sans en avoir les inconvénients, car aussi légers et plus résistants, leur durée est illimitée. Leur emploi s'imposera à bord des paquebots, dans les pays tropicaux et les colonies et, en raison de leur bon marché, ils pourront être utilisés dans tous les endroits où le bois et la main-d'œuvre sont rares et onéreux.

La Maison Bertrand (35, rue du Laos, Paris), exposait un « Lit extensible » construit en duralumin poli ayant le brillant de l'argent. De gros tubes pouvant coulisser les uns dans les autres permettent son utilisation comme : berceau, lit d'enfant, lit normal, banquette et canapé. Son poids ne dépasse pas 20 kg, et, démonté, il peut tenir dans un étui que l'on transporte facilement.

La Maison Joseph Mathieu et C[ie] (15, place Jean-Macé, Lyon), présentait des chaises avec dossiers mobiles fondus permettant leur utilisation comme tabourets en enlevant les dossiers. Ces chaises peuvent s'emboîter les unes au-dessus des autres à raison de 80 par mètre cube. Le métal est sablé ou poli. Elles offrent l'avantage de pouvoir être transportées très facilement ou d'être conservées en magasin sous un volume extrêmement restreint.

La Maison Mathieu fabrique, sur le même principe, des tables et d'autres articles.

La Maison « Le Tabouret Sportif » (3, avenue Taillade, Paris), montrait un siège universel pour tous les sports en plein air, en aluminium poli, dessus rotin, pesant 880 g et supportant 180 kg.

Les Etablissements Forbras (117, avenue Parmentier, Paris), présentaient des échan-

tillons de tuyaux flexibles de 8 et 10 mm de diamètre. Les modèles exposés permettaient de se rendre compte du mode de fabrication :

1° Sous forme de gaîne sans joint, pour passage de câbles pour transmission de force à faible puissance et vitesse, pour compteurs ou indicateurs de vitesse, ou pour passage de fils électriques pour aviation et automobile.

2° Sous forne de gaîne avec ressort acier intérieur, pour passage de câbles transmetteurs de force à plus grandes vitesse et puissance.

3° Avec joint intérieur, caoutchouc ou autre, pour passage de liquides, vapeurs, eau et gaz.

4° Avec tube caoutchouc intérieur, pour passage des liquides, vapeurs, gaz, acétylène dans l'éclairage des automobiles.

Ces tuyaux, de tous diamètres, peuvent être utilisés dans les industries chimiques, en brasserie, distillerie, dans l'automobile et l'aviation.

La Maison Léon Jandaureck (Les Essarts-Bron, Rhône) : un aspirateur de vapeurs, fumées ou gaz, dont l'emploi assure l'assainissement des locaux; « Le Tourbillon », appareil pour laver le linge; des modèles de flacons pour le transport des parfums et un service à liqueurs avec plateau en aluminium.

La Maison Paul Mathieu (41, 42 et 43, rue d'Hautpoul, Paris), exposait un radiateur « Ardor » en alliage aluminium-zinc, fondu en coquille, d'une épaisseur de 4 mm. Cette maison construit aussi des graisseurs pour transmissions, des tubes boule de verre à monture en aluminium coulé, des graisseurs compte-gouttes à pointeau, des paliers de transmission en alliage d'aluminium et des joints en fils d'aluminium soudés électriquement et cuivrés pour tampons de chaudières tubulaires.

R. Goudin (7, avenue de Saint-Germain, Maisons-Laffitte) : collection de fers à chevaux en aluminium et en duralumin, destinés spécialement à la ferrure des chevaux de course.

E. Legros (11, impasse Ménilmontant; 132, rue Oberkampf, Paris) : règle graduée en aluminium, boîte guillochée polie, timbale ciselée, bonbonnière Louis XVI, casse-noix aluminium nickelé, peigne nickelé, poélon martelé pour pastilleur, masque protecteur pour chevaux de courses, brosse de trousse sur semelle aluminium antiseptique et plaque en aluminium pour manifold, destinée à remplacer les plaques de zinc.

Les Etablissements Ch. Serve et A. Notter (15, rue Creuzet, Lyon), avaient exposé des modèles de matériel pour chapellerie en métal, inoxydables, légers, à chauffage rapide et économique.

La Maison G. Laurent (44, rue de Montmorency, Paris), présentait des malles « Lord » entièrement couvertes d'aluminium poli ou mat, d'une propreté permanente, d'une grande solidité et plus légères que les malles en cuir.

La Maison L. Warin (9, rue du Parc, Asnières), Rapeaud, Planelle, Charlier et Roy, successeurs, présentait un assortissement de capsules, pots, boîtes, tubes à pilules, dans lesquels on a utilisé l'aluminium agrémenté de celluloïde, de carton ou toute autre matière plastique, de couleurs variées et d'aspect agréable. Ce sont des objets utilisables dans la parfumerie, la droguerie, la pharmacie.

Etablissements Quitte (27, rue du Chemin-Vert, Paris) : collection de petits objets de fantaisie en aluminium.

Parfumerie Coty (13, boulevard de Versailles, Suresnes) : spécimens de boîtes légères en aluminium élégamment recouvertes.

Maurice Nahmias (58, rue Amelot, Paris) : lampe à pétrole « La Crésus » sans soudures, ayant pour but de faire apparaître les avantages d'un procédé d'étanchéité qui s'applique à tous les récipients d'éclairage et de chauffage à combustibles liquides, ainsi qu'à tous ceux devant contenir un liquide quelconque.

J. Remacle (85, avenue Jean-Jaurès, Mantes-Gassicourt) : collection de talons de chaussures de dames en aluminium, élégants, légers, avec un mode d'attache pratique et très solide, prix de revient très bas, réparations faciles et à la portée de tout le monde.

Ed. Deraisme (167, rue Saint-Maur, Paris) : variété de jumelles très élégantes à montures en aluminium.

Les Etablissements Brewer frères (76, boulevard Saint-Germain, Paris), constructeurs d'instruments de précision et fournisseurs de matériel pour les laboratoires scientifiques et industriels, avaient exposé une balance d'analyse, portée de 100 g et d'une sensibilité de 1 mg entièrement construite en aluminium avec ses poids et accessoires. Les mêmes établissements avaient présenté un ligaturateur en aluminium qui permet la suppression des colliers de serrage et peut ligaturer très rapidement et très solidement les tuyaux de caoutchouc sur des tubes métalliques et serrer les balles de coton, fibre, fermeture des caisses, etc.

X. Granier (26, avenue de Tourville, Paris) : plume en aluminium pour remplacer la plume à pointe de verre.

Le Comptoir de la Gravure chimique (75, boulevard Magenta, Paris), exposait des spécimens de gravures en noir et en couleurs sur aluminium. En faisant varier les teintes des fonds ou le relief des lettres et des motifs de décoration, on peut obtenir des effets très artistiques.

G. Rivière et Cie (35-37, rue de l'Hospice-des-Vieillards, Lyon) : produit « Allumyn » pour le nettoyage et le polissage de l'aluminium.

Les Etablissements Combemale 12, rue Curton à Clichy (Seine), avaient exposé une cellule de filtre à air entièrement construite en aluminium.

Ces filtres, qui assurent le dépoussiérage complet de l'air par son passage sur des tôles perforées recouvertes de coton, sont utilisés pour la purification de l'air dans les usages domestiques et dans les usages industriels : turbo-dynamos, compresseurs d'air, etc. L'inventeur a été récompensé par la Société d'Encouragement en 1909.

M. Berger, 13, boulevard de Montparnasse à Paris, professeur d'histoire à l'Institut national des Jeunes Aveugles, avait exposé une machine à écrire en caractère Braille, très facilement démontable, et dans laquelle les principaux organes sont en aluminum. Son poids, capot compris, ne dépasse guère 6 kg.

La présentation de cette machine a fait l'objet d'une communication à la Société d'Encouragement.

ALUMINOTHERMIE

Les Etablissements C. Delachaux (151-153, rue des Gabœufs, à Gennevilliers, Seine), avaient exposé :

du *Manganèse métallique 95-96 p. 100.* — Ce métal est obtenu en partant de minerais extrêmement riches en MnO^2 et pauvres en silice et en oxyde de fer. Alors que le manganèse carburé, provenant du four électrique, s'effrite facilement lorsqu'il a été exposé à l'air un certain temps, le manganèse aluminothermique résiste au contraire pendant une durée illimitée aux influences atmosphériques. Ce métal est facile à casser au marteau; il se distingue, en outre, par la facilité avec laquelle il peut être fondu avec d'autres métaux (cuivre, nickel, zinc, étain, aluminium, chrome, titane, etc.) en se dissolvant presque sans déchets et en donnant un produit homogène, dense et exempt de soufflures. Son introduction dans les alliages de cuivre apporte un minimum de fer, ce qui, par conséquent, ne diminuera pas la ductilité ni les qualités réfractaires de l'alliage. Il permet enfin d'obtenir des aciers à haute teneur en manganèse sans les rendre fragiles par excès de carbone (croisements de rails, aiguillages, cœurs, âmes, galets, marteaux pour broyeurs, concasseurs, etc.);

du *Chrome 97-98 p. 100.* — Le chrome aluminothermique résiste indéfiniment à l'action de l'air tout en conservant sa coloration argentée. Sa cassure ne montre ni grain ni fibre. Ce métal convient tout particulièrement à la fabrication d'alliages spéciaux à haute teneur en chrome et dans lesquels le fer est considéré comme une impureté. Grâce

à la grande régularité de sa composition, il est surtout utilisé pour la fabrication des aciers spéciaux au creuset, notamment des aciers rapides pour outils (3 à 7 p. 100 de Cr). On l'emploie également pour la fabrication des fils de résistance tels que le fil ni-chrome et des aciers non ferreux tels que la stellite qui, pour certains travaux, possède des qualités de coupe auxquelles ne pourraient arriver les aciers rapides;

du *Cupro-manganèse à 30 p. 100*. — Cet alliage, renfermant moins de 1 p. 100 de fer et moins de 2 p. 100 d'impuretés totales, est préparé en partant du manganèse aluminothermique exempt de carbone et de cuivre électrolytique absolument pur. Il permet, par suite, d'obtenir des produits particulièrement homogènes. Il est recommandé pour l'amélioration des bronzes, des laitons et des cuivres, la fabrication de toutes pièces soumises au feu ou à la vapeur, la fabrication des bronzes au manganèse dits « à haute résistance », la fabrication des pièces en bronze ou en laiton pour la marine, la télégraphie et la téléphonie maritimes, la construction des machines électriques. Il remplace en outre avantageusement le phosphure de cuivre comme désoxydant, augmente la ductilité des maillechorts et du cupro-nickel, etc.;

du *Ferro-chrome à 60 p. 100 de* Cr. — Le ferro-chrome aluminothermique est exempt de carbone. Plus que dans tout autre métal ou alliage, il importe d'éviter la présence du carbone dans le ferro-chrome si l'on veut obtenir un acier d'une composition aussi rapprochée que possible du résultat recherché. Le ferro-chrome aluminothermique permet au fondeur de surveiller très exactement la teneur en carbone de son acier. D'autre part, le point de fusion de ce ferro-chrome est très inférieur à celui de l'alliage ordinaire à haute teneur en carbone, ce qui facilite son introduction dans les aciers. D'une manière générale, ce produit est utilisé pour la fabrication de tous les aciers qui doivent posséder une faible teneur en carbone et une haute teneur en chrome (aciers rapides, aciers destinés à la coutellerie, etc.);

du *Ferro-titane à 25-30 p. 100 de* Ti. — Le fait que ce produit est exempt de carbone est de la plus haute importance, attendu que le carbone formerait un carbure de titane qui rendrait la fusion difficile. Il est utilisé, grâce à ses facultés réductrices, dans la fabrication de presque toutes les catégories d'aciers qu'il rend denses et résistants. Une addition de 0,5 à 1 p. 100 de Ti est avantageuse pour les aciers qui doivent posséder de grandes qualités de résistance aux chocs, et par suite, être d'une pureté aussi grande que possible (ceux qui sont destinés à la fabrication des rails, par exemple, qui doivent avoir une très forte résistance à l'usure).

Calorites. — La calorite est un mélange d'oxyde de fer et d'aluminium. Ses applications sont :

1° *Traitement de la retassure dans les lingots d'acier*. — Si dans un lingot d'acier doux à très faible teneur en silicium on introduit après la coulée une boîte de « Calorite », le niveau du métal baisse de 12 à 15 cm et si on remplace le vide obtenu par de l'acier chaud, on obtient un lingot sans retassure. Pour traiter un lingot de 1.200 kg, il faut 1,25 kg à 2,5 kg de calorite suivant le cas. L'effet produit vient surtout de la rapidité de la réaction qui crée dans un point du lingot une grosse élévation de température, d'où brassage énergique de toute la masse. Le métal chaud du fond est chassé vers la surface, ce qui équilibre la chaleur dans l'ensemble du lingot. Ce brassage chasse les gaz occlus et refoule vers la surface les scories en même temps qu'il a pour effet de mélanger à nouveau les différentes qualités d'acier qui avaient commencé à se superposer dans le lingot et qui ne peuvent plus se reformer, le métal n'étant pas assez liquide. Il résulte de ce traitement que, non seulement la retassure se trouve pratiquement supprimée, mais que le métal obtenu est plus serré et plus homogène. La calorite anti-soufflures produit son

maximum d'effet dans les aciers non siliceux contenant de 0,10 à 0,12 de carbone. Elle a sa place toute marquée dans la fabrication des produits fins et notamment des tôles, larges plats, etc.

La calorite anti-soufflures s'emploie quel que soit le mode de coulée des lingots, coulée directe, coulée en source par lingot central. On coule à la manière ordinaire et on laisse refroidir jusqu'à ce que le métal commence à se fixer sur les bords et au-dessus. Après avoir fixé la boîte de calorite anti-soufflures sur une tige de fer, on la chauffe pour enlever toute trace d'humidité. On casse la légère croûte formée sur le lingot et on plonge la boîte verticalement jusque vers les deux tiers du lingot en l'y maintenant pendant le temps de la réaction qui dure environ quinze à vingt secondes. La réaction terminée, on enlève la tige de fer. Le niveau du lingot s'est abaissé, laissant à découvert la pellicule d'acier qui s'était solidifiée au moment du traitement. On comble alors ce vide avec de l'acier chaud. Cette pratique n'est pas indispensable mais elle est préférable. Aussitôt après, on met les couvercles sur les lingots. L'économie obtenue peut varier de 20 à 50 p. 100 du poids du lingot et cela sans aucune installation spéciale et sans modification de la marche de l'aciérie.

2° *Réchauffage des évents et masselottes.* — Les évents et masselottes sont presque toujours nécessaires en fonderie, mais leur poids est souvent important par rapport à celui de la pièce et constitue par conséquent une forte proportion de métal inutilisé. Si l'on cherche à les diminuer ou si la forme de la pièce ne permet pas de leur donner une importance suffisante, on risque qu'ils ne restent pas assez longtemps liquides pour nourrir convenablement la pièce.

L'emploi de la calorite permet de diminuer les masselottes sans craindre cet inconvénient, car on peut maintenir le métal liquide aussi longtemps qu'il est nécessaire. Pour arriver à ce but, on dispose de la calorite sur la surface de la masselotte quelques instants après la coulée. Au contact de l'acier la calorite s'allume, le fer liquide perce la légère croûte qui s'est formée à la surface de la masselotte et vient réchauffer le métal. On constate un abaissement du niveau, ce qui indique que la masselotte nourrit la pièce. Si le niveau descend trop bas, on comble le vide avec du métal chaud jusqu'à ce que le niveau reste stable.

Lorsqu'il s'agit de masselottes très importantes ou de pièces particulières comme des cylindres de laminoir coulés debout, on se sert de colorite en boîte qu'on introduit dans la masselotte ou dans la pièce, comme s'il s'agissait d'un lingot ordinaire. Dans ce cas, l'action de la calorite a lieu dans le sein du métal, la retassure se trouve éliminée et il suffit de combler le vide qui s'est produit à l'aide de nouveau métal. Le procédé est le même s'il s'agit d'une pièce en fonte, mais comme celle-ci n'est pas assez chaude il faut, pour la calorite en vrac, amorcer la réaction à l'aide de poudre d'allumage. Lorsque la réaction est terminée, on enlève la scorie en tournant dans l'évent une tige de fer froide. La scorie s'y fixe facilement. Pour les évents jusqu'à 20 kg, il faut environ 2 p. 100 de leur poids de calorite anti-soufflures. Pour les évents plus gros, 1/2 à 1 p. 100 suffisent.

3° *Rechauffage des poches froides.* — La difficulté que l'on éprouve à obtenir certains petits moulages d'acier provient surtout du manque de fluidité du métal en fusion. En introduisant dans la poche ou dans le creuset, immédiatement avant la coulée, environ 0,25 à 0,50 p. 100 de calorite on a un métal plus chaud, et partant plus liquide, permettant d'obtenir des pièces très minces et absolument saines. Lorsque la réaction est terminée et avant de couler, on débarrasse la surface du bain des scories qui s'y sont amassées. De même, lorsque l'on a une certaine quantité de moules à remplir, il se trouve souvent que le métal du fond de la poche est trop froid pour être employé. Une addition d'environ 1/2 p. 100 de calorite suffit pour rendre au métal la fluidité nécessaire. On

se sert, pour cette opération, de boîtes de calorites anti-soufflures qu'on plonge dans la poche. On peut également, en procédant de la même façon, maintenir liquide, aussi longtemps qu'on le désire, le métal d'une poche dont la coulée se trouverait retardée par une cause quelconque.

Calorite au titane. — La calorite au titane met à la disposition du fondeur la possibilité de traiter telle poche destinée à faire des cylindres d'automobile et provenant d'un cubilot réglé pour faire des sabots de frein ou des grosses pièces. Dans des fonderies travaillant pour l'automobile où certaines pièces donnaient, par suite de soufflures, jusqu'à 60 p. 100 de rebuts, on a pu ramener les caffûts d'une manière courante à 8 p. 100 avec le même personnel et les mêmes fontes. La calorite au titane est obtenue en remplaçant une partie de l'oxyde de fer au mélange aluminothermique par de l'acide titanique. Ses propriétés sont les suivantes :

1° Le titane obtenu à l'état naissant absorbe l'azote qui se trouve dans la fonte et qui est la principale cause des soufflures.

2° Le titane, excellent réducteur, fixe les oxydes métalliques en suspension dans la fonte : il déxoyde donc le bain.

3° Le titane, par la réduction de la teneur en soufre et par l'élévation de la température produite par la réaction, rend la fonte beaucoup plus fluide et permet d'obtenir, sans déchets, les moulages les plus minces et les plus détaillés.

4° Le grand dégagement de chaleur produit en un point de la poche détermine un brassage énergique de la fonte qui renvoie les impuretés à la surface et assure au bain une homogénéité parfaite.

Calorites de manganèse, de chrome, de nickel. — Ces divers produits ont pour but de faciliter l'incorporation de ces métaux dans l'acier, et ceci, grâce au brassage énergique du bain produit par la réaction aluminothermique. Ce brassage assure une répartition uniforme du métal incorporé et l'homogénéité parfaite du mélange.

MAGNÉSIUM, CALCIUM ET SODIUM

La Société d'Électro-Chimie et d'Électro-Métallurgie avait présenté des échantillons de calcium et de sodium obtenus dans son usine des Clavaux; le premier de ces métaux en lingots et en tournures et le deuxième sous une forme originale et nouvelle : dans des flacons de verre remplis avec du métal fondu, bouchés et paraffinés, ce qui permet d'en apprécier la pureté et la belle couleur blanc d'argent.

Le magnésium était représenté, soit à l'état pur, soit à l'état d'alliages ultra-légers, par des pièces coulées et des échantillons de tôles, de tubes et de barres laminés ou étirés.

Des rondins de même poids, d'acier, d'aluminium et de magnésium, indiquaient respectivement les volumes occupés par ces métaux; un tableau indiquait les principales caractéristiques et les avantages des métaux légers et ultra-légers comparés entre eux.

Les pièces coulées en sable comprenaient des pistons et des bielles de moteurs ainsi qu'un carter supérieur d'un moteur d'aviation de 500 ch. Le poids de cette pièce était de 46,560 kg tandis qu'en aluminium son poids aurait été de 74 kg.

Les pièces coulées en coquille comprenaient des lingots de magnésium, bruts de coulée, et dont la surface dégrossie au tour était complètement exempte de soufflures ou de tous défauts de fonderie.

A côté, se trouvaient des échantillons de tôles de différentes épaisseurs, des bandes laminées et des barres étirées de plusieurs mètres de longueur, ainsi que des tubes de différents diamètres et de différentes épaisseurs : 30×35, 40×44, 40×46, 40×48 mm.

Les alliages ultra-légers que fabrique actuellement la Société d'Électro-Chimie et d'Électro-Métallurgie offrent les caractéristiques suivantes :

1° A l'état non écroui :

Charge de rupture R = 25 kg : mm²
Limite apparente d'élasticité E = 20 kg : mm²
Allongement de rupture A = 22 p. 100
Striction ε = 12 p. 100
Dureté Brinell Δ = 60

2° A l'état écroui par laminage à froid :

La charge de rupture peut être naturellement élevée par écrouissage avec réduction correspondante de l'allongement.

Par exemple avec R = 28 kg : mm², A est de 9 p. 100.



Fig. 10. — Stands de la Société d'Électro-Chimie, des Établissements Montupet et de « l'Aluminium laminé ».

On trouvait également dans le stand de la Société d'Électro-Chimie et d'Électro-Métallurgie des échantillons de magnésium en poudre, de soudures pour magnésium, quelques pièces usinées et filetées montrant la facilité du travail à l'outil, ainsi qu'une série de tôles colorées différemment par un procédé de mordançage qui constitue à la fois une protection efficace de la surface de ces métaux.

L'Exposition de la Société d'Électro-Chimie et d'Électro-Métallurgie a été une révélation pour beaucoup de visiteurs. Elle a montré les espérances que l'on peut fonder sur l'emploi industriel des métaux ultra-légers, principalement dans les constructions aéronautiques et automobiles.

Cette Société, d'autre part, poursuit actuellement très activement l'étude complète des alliages ultra-légers en examinant, non seulement l'influence de la composition chimique, mais aussi celle de l'écrouissage, du recuit à différentes températures, et nous pouvons assurer que, dans cette voie, elle saura conserver une avance qui permettra à la France de concurrencer les industries similaires étrangères.

R. Guérin,
Ingénieur, chef des Laboratoires de l'Aluminium français.

COMPTES RENDUS

DES SÉANCES DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT

CONSEIL D'ADMINISTRATION

SÉANCE PUBLIQUE

DU 21 MAI 1921

Présidence d'honneur de M. Drouets, directeur de la Propriété industrielle, représentant M. le Ministre du Commerce.

La séance est ouverte à 17 h.

Ont pris place au Bureau :

M. Drouets, directeur de la Propriété industrielle, représentant M. le Ministre du Commerce, président d'honneur;

le capitaine Paquignon, représentant M. le Sous-Secrétaire d'État de l'Aéronautique et des Transports aériens;

M. Chagnaud, président de la Société des Ingénieurs civils;

M. Cordier, président de l'Union des Industries minières et métallurgiques.

Le procès-verbal de la précédente séance est approuvé.

Sont présentés pour devenir membres de la Société et admis séance tenante :

M. Cayrou (Georges), membre de la Société lyonnaise des Inventeurs et Artistes industriels, 12, avenue de la Gare, Perpignan (Pyrénées-orientales), présenté par M. Lemaire;

Pechelbronn, Société anonyme d'Exploitations minières, 32, allée de la Robertsau, Strasbourg (Bas-Rhin), présenté par MM. Lemaire et de Chambrier (membre perpétuel);

M. Vagné (Marcel), organisateur de comptabilités, 62, rue Caumartin, Paris (9e), présenté par M. Petitalot.

M. Baclé, *président de la Société.* — Nous sommes particulièrement heureux de signaler l'entrée dans notre Société, comme membre perpétuel, de Pechelbronn, aujourd'hui société française. Déjà, M. Paul de Chambrier, directeur des Mines et Usines de Pechelbronn, était devenu des nôtres, à titre personnel, en 1919. Vous vous rappelez certainement la très belle conférence qu'il nous a faite ici même, le 29 novembre 1919, et que notre *Bulletin* de janvier-février 1920 a reproduite. Nous remercions vivement M. Paul de Chambrier, à qui nous devons ce nouveau et précieux collaborateur à l'œuvre de la Société d'Encouragement.

M. Baclé, *président.* — J'ai le regret de vous informer du décès de notre regretté collègue du Conseil, M. **Maurice Terré**, membre du Comité des Arts mécaniques, dont les obsèques ont eu lieu ce matin. Nous avons été informés de ce deuil trop tard pour pouvoir assister à ses obsèques en délégation officielle, mais quelques-uns d'entre nous ont pu accompagner notre regretté collègue à sa dernière demeure.

M. Maurice Terré a fait, comme vous le savez, une carrière très distinguée comme Ingénieur des Constructions Navales et il avait quitté ces fonctions, jeune encore, pour s'occuper personnellement d'industrie. Il est entré à notre Conseil en 1913, comme membre du Comité des Arts mécaniques, dont il suivit assidûment les travaux, et il présenta à ce titre, à ce Comité, de nombreux et intéressants rapports dont vous n'avez pas perdu le souvenir. C'était un de nos collaborateurs les plus dévoués.

Sa mort imprévue est un deuil pour tous ses collègues dont il emporte les regrets unanimes, et, en leur nom, j'exprime à sa famille et à sa mère désolée toute la part que nous prenons à leur chagrin.

M. Baclé, *président.* — J'ai la satisfaction de vous informer de la promotion au grade d'officier de la Légion d'honneur de notre cher collègue, M. Gabriel Bertrand, professeur à la Faculté des Sciences et à l'Institut Pasteur. En votre nom à tous, je lui exprime nos cordiales félicitations pour cette haute distinction à laquelle nous sommes heureux d'applaudir, car elle est la récompense méritée des savantes recherches sur les questions de fermentation qu'il a su mener à bonne fin et qui sont si justement appréciées en France et à l'étranger, dans les milieux compétents.

Je suis heureux de pouvoir vous informer également d'une nomination à laquelle vous applaudirez certainement avec grand plaisir, celle de Mme Lindet, l'épouse de notre dévoué ancien président, car vous savez tous l'énergie et le dévouement dont elle a fait preuve pendant la guerre comme infirmière-major de l'hôpital du Val-de-Grâce.

M. Baclé, *président de la Société.* — Lorsqu'il y a soixante-dix ans bientôt, notre illustre compatriote, Henri Sainte-Claire Deville, reprenant les expériences de Wöhler, présentait au monde savant les premiers échantillons d'aluminium qu'il venait d'obtenir en lingots au lieu de la poudre grise de Wöhler, les milieux scientifiques et industriels ne voyaient encore dans le métal nouveau qu'une curiosité de laboratoire, et nul ne soupçonnait certainement l'avenir illimité qui allait s'ouvrir devant lui et le rang éminent qui devait lui revenir parmi les métaux vraiment usuels servant aux besoins de la vie courante.

Ce métal possède sans doute des qualités toutes particulières résultant de sa légèreté exceptionnelle; il présente en outre cette particularité de se rencontrer plus fréquemment que tout autre à la surface même du sol dans les couches argileuses que nous foulons sous nos pieds, dont il forme l'un des constituants nécessaires, mais, par contre, la préparation et l'utilisation de l'aluminium présentaient de telles difficultés qu'il ne semblait pas possible d'en triompher en pratique courante; elles exigent encore du reste aujourd'hui des minerais spéciaux qui ne se rencontrent pas fréquemment, mais que nous possédons heureusement en France en quantités importantes.

Le traitement alors adopté pour la décomposition du minerai alumineux était en effet fort difficile, long et dispendieux, exigeant l'intervention du sodium qui, alors, était aussi lui-même une curiosité de laboratoire. Le métal ainsi obtenu se révélait facilement altérable aux agents extérieurs, à l'action de l'air humide et surtout salin, des acides organiques, ce qui en interdisait l'emploi pour les usages domestiques par exemple, et surtout dans les applications navales pour lesquelles cependant il était tout spécialement indiqué en raison de sa grande légèreté. D'autre part, il était incapable de supporter sans déformation permanente un effort statique ou dynamique un peu important, ce qui écartait encore toute application à la construction mécanique.

Il semblait en un mot que l'aluminium ne possédait aucune des qualités que nous recherchons dans les métaux usuels qui doivent résister sans altération, ni déformation, aux actions chimiques ou mécaniques.

En dépit des pronostics si défavorables qui l'ont ainsi accueilli à son apparition, l'aluminium n'est pas resté confiné dans les laboratoires des savants, il est entré de haute lutte dans la grande industrie sous l'impulsion des éminents ingénieurs, nos compatriotes, qui se sont consacrés à cette métallurgie nouvelle, et leurs travaux, dont l'évocation forme le principal attrait de notre exposition rétrospective, vont être résumés tout à l'heure dans la savante conférence de notre éminent collègue, M. Léon Guillet, qui a été l'instigateur de cette exposition. Grâce à eux, les procédés de fabrica-

tion se sont complètement transformés en donnant maintenant un métal susceptible des applications les plus variées. Par l'emploi de l'électrolyse combinée avec les hautes températures, ils ont réussi en effet à opérer directement la réduction de l'alumine et ils ont pu obtenir un métal exempt de sodium, présentant des conditions de pureté qui lui assurent une résistance chimique inconnue jusque là. Ils arrivèrent en outre à préparer peu à peu des bronzes ou des alliages divers conservant toujours l'éclat métallique ou présentant même parfois une résistance mécanique comparable à celle du fer doux, comme le duralumin par exemple.

Ainsi transformé, l'aluminium est devenu, dans toute la force du terme, un métal industriel dont les applications se développent de jour en jour, comme l'Exposition qui s'ouvre aujourd'hui en apporte la démonstration par de nombreux exemples.

Elle nous montre en effet tous les services que l'aluminium ou ses alliages peuvent rendre dans les industries les plus variées, comme les opérations de fermentation, la chimie, l'électricité et surtout la construction mécanique par la préparation de pièces en métal fondu, d'alliages en métal forgé ou d'ustensiles domestiques, et plus spécialement dans l'industrie automobile, dans les constructions navales et surtout dans l'aviation pour qui cette considération de légèreté devient tout à fait prédominante.

Toutes ces applications vont être résumées dans la savante conférence de M. Léon Guillet et elles seront ensuite exposées en détail dans celles que les spécialistes distingués de chacune de ces industries nous donneront au cours de l'Exposition, montrant ainsi toute la multiplicité et la variété des applications que l'aluminium peut aujourd'hui recevoir.

C'est ainsi que la journée de lundi prochain sera consacrée aux applications électriques : M. Dusaugey nous parlera d'abord de l'emploi de l'aluminium comme conducteur électrique, puis notre collègue, M. Zetter, s'attachera plus particulièrement aux emplois dans l'appareillage.

Mardi, M. Flusin, professeur à l'Université de Grenoble, nous entretiendra des métaux légers, proches parents de l'aluminium, qui sont devenus usuels : le magnésium, le calcium et le sodium.

Mercredi, nous entendrons deux conférences consacrées aux emplois de l'aluminium dans les opérations de fermentation ou les industries chimiques. Notre collègue, M. Trillat, chef de Laboratoire à l'Institut Pasteur nous parlera en effet des industries de fermentation, brasserie, laiterie, fromagerie, puis M. Guérin, chef des Laboratoires de l'Aluminium français, qui a été en même temps l'organisateur habile et dévoué de cette exposition, traitera des industries chimiques et des procédés de fabrication du matériel en aluminium (soudures, recouvrements, émaillage, métallisation).

La journée de jeudi sera consacrée à l'aéronautique, et, dans une conférence qui sera présidée par M. le Sous-Secrétaire d'État de l'Aéronautique et des Transports aériens, M. le colonel Grard nous entretiendra des alliages légers et de leur emploi dans le matériel d'aviation.

Pour compléter enfin l'exposé des applications de l'aluminium, M. de Fleury nous entretiendra, dans sa conférence de samedi, de l'emploi des métaux légers dans la construction mécanique et en particulier dans l'industrie automobile.

Ce rapide exposé vous permet déjà d'apprécier tout l'intérêt de cette manifestation qui va mettre en évidence et révéler en quelque sorte l'importance que prend maintenant l'industrie de l'aluminium en suite des progrès qu'elle a su réaliser déjà et qu'elle nous fait entrevoir encore.

La Société d'Encouragement qui, depuis sa fondation, en 1801, s'est toujours attachée dans le passé à mettre en évidence, et qui parfois même a contribué à provoquer les progrès principaux ayant marqué, depuis sa fondation, l'histoire de l'industrie française, se devait à elle-même de présenter aujourd'hui, dans cette Exposition, la première en date, ceux dont l'aluminium a été l'objet, et, en son nom, je ne saurais trop remercier M. le Ministre du Commerce et M. le Sous-Secrétaire d'État de l'Aéronautique et des Transports aériens qui ont bien voulu répondre à notre invitation en se faisant représenter à cette inauguration, dont ils ont accepté en même temps la présidence d'honneur, puisqu'en raison de leur éloignement de Paris, ils se sont trouvés malheureusement empêchés de la présider effectivement, comme ils nous l'avaient fait espérer. Nous avons toutefois le plaisir de pouvoir vous dire que M. le Sous-Secrétaire d'État de l'Aéronautique a bien voulu accepter de présider la séance de jeudi au cours de laquelle M. le Colonel Grard nous fera sa conférence.

Nous remercions M. Drouets et M. le capitaine Paquignon qui ont bien voulu accepter la mission de représenter M. le Ministre du Commerce et M. le Sous-Secrétaire d'État de l'Aéronautique, et aussi Messieurs les Délégués de ces Ministères présents à cette séance, ainsi que M. le Président de la Société des Ingénieurs Civils, et M. Cordier, président de l'Union des Industries minières et métallurgiques qui ont bien voulu répondre également à notre invitation. Nous ne saurions oublier dans nos remerciement les savants et ingénieurs distingués qui ont bien voulu accepter de venir exposer dans cette salle les résultats acquis dans leurs industries spéciales, en faisant ces conférences qui vont être l'attrait de notre Exposition, spécialement notre collègue M. Léon Guillet qui en a conçu le projet, et enfin, M. Guérin qui, avec le concours de M. Zetter, en a été l'organisateur dévoué et compétent, comme nous le rappelions plus haut, et Messieurs les Exposants, qui en

assurent le succès par ces envois si remarquables qui font l'admiration des visiteurs.

M. Léon Guillet, professeur à l'École centrale des Arts et Manufactures et au Conservatoire des Arts et Métiers, fait une communication sur *l'industrie de l'aluminium et de ses alliages, leurs propriétés, leur élaboration, leur travail, leurs emplois* (1).

La fabrication de l'aluminium. — Après avoir rappelé la découverte de Henri Sainte-Claire Deville et les principes de la méthode chimique de fabrication, seule employée jusqu'en 1886, et les grands travaux de Héroult, aboutissant à la métallurgie actuelle, le conférencier insiste sur les deux phases du seul procédé utilisé dans le monde entier :

a) La préparation de l'alumine pure, en partant de la bauxite, par le procédé Sainte-Claire Deville, et surtout celui de Bayer, le procédé au nitrure n'étant pas encore employé;

b) L'électrolyse de l'alumine mise en solution dans la cryolithe.

De nombreuses recherches ont eu pour but de simplifier la première phase, en permettant notamment l'extraction de l'alumine de l'argile; aucun procédé industriel n'est encore né de ces recherches.

La fabrication de l'aluminium ne consomme pas seulement de la bauxite et de l'énergie électrique. Pour fabriquer 1 t d'aluminium, on consomme : 1 t d'électrode; 10 t de charbon; 1 t de soude NaOH, 1 t de produits divers, soit, au total, 13 t de produits autres que l'alumine.

Situation économique. — Les dernières années ont apporté des modifications importantes dans la situation économique de la métallurgie de l'aluminium. Jusqu'en 1914, on ne comptait que deux centres importants producteurs de bauxites : la France et les États-Unis; la production était pour 1913 : États-Unis : 213.605 t; France : 309.294 t; Angleterre : 6.153 t et Italie : 6.952 t. En 1917, la production française a atteint : 101.748 t; celle des États-Unis : 568.690 t; celle de l'Angleterre : 14.950 t; celle de l'Italie : environ 8.000 t.

De nouveaux gisements ont été découverts et mis en exploitation pendant la guerre : spécialement en Guyane anglaise et hollandaise; en Dalmatie, en Hongrie, en Croatie, etc. Ce sont ces derniers gisements qui ont fourni l'aluminium nécessaire à nos ennemis pendant la guerre. Notons que la plupart de ces bauxites sont de qualité nettement inférieure à celle des gisements français.

En 1913, la production mondiale de l'aluminium atteignait 63.700 t, dont 35,4 p. 100 par les États-Unis; 21,2 p. 100 par la France; 18,8 p. 100 par la Suisse; 11,8 p. 100 par la Grande-Bretagne.

On estime qu'en 1917, elle atteint 130.000 t, dont 70.000 par les États-Unis, 12.000 par la France, 12.000 par la Suisse, 6.000 par la Grande-Bretagne 12.000 par le Canada.

Propriétés et emplois de l'aluminium. — Au moyen de tableaux très détaillés, M. Guillet fait l'étude comparative des propriétés de différents métaux industriels :

(1) Voir à la page 683 du présent numéro le texte *in extenso* de cette communication.

1° Pour les propriétés physiques : fusibilité, densité, dilatation, conductibilités électrique et thermique, etc.;

2° Pour les propriétés mécaniques : résultats de l'essai de traction, de l'essai de choc, etc.;

3° Pour les propriétés chimiques : chaleurs de formation des différents sels.

Il montre que les caractéristiques de l'aluminium se trouvent dans sa faible densité (2,68), son point de fusion moyen (658°), une très haute conductibilité électrique et thermique et un coefficient de dilatation très élevé.

Les propriétés mécaniques (sur barre laminée et recuite : $R = 9$; $E = 5$; $A = 35$ à 40; ρ [choc] $= 3$) sont plutôt faibles. La résistance aux chocs répétés est basse.

La grande chaleur de formation de l'alumine a créé l'aluminothermie. M. Guillet rappelle les grandes discussions relatives à l'altérabilité du métal.

Les traitements ont une grande influence sur les propriétés de l'aluminium qui donne :

	R	E	A
Coulé	5 à 7	3 à 4	5 à 6
Laminé et recuit	9 à 10	4 à 5	35 à 40
Écroui au maximum	18-20	15-18	5-3

Des études systématiques, notamment celles de M. le Lieutenant-Colonel Grard, ont bien montré les influences de l'écrouissage et du recuit.

Le conférencier signale un produit vendu sous le nom d'aluminium durci ou *aludur*, qui donne :

$$R = 27 \text{ à } 29; \quad E = 27 \text{ à } 28{,}5; \quad A = 7 \text{ à } 9,$$

dont l'étude paraît devoir être assez intéressante.

L'influence des principales impuretés sur l'aluminium : Fe, Si, Cu, sur ses propriétés mécaniques est importante.

Les emplois de l'aluminium sont basés sur : sa faible densité; sa facilité de moulage; sa facilité de laminage et d'emboutissage et sa conductibilité électrique élevée. Son emploi présente :

1° Des difficultés de fusion et de coulée;

2° Une grande facilité de moulage, notamment en coquille;

3° Une facilité de travail à chaud (425°) et à froid, au laminoir, à la presse à filer, etc., d'où la fabrication du papier d'aluminium;

4° Sa facilité de soudure et de recouvrement, nickelage, cuivrage, etc.;

5° La possibilité de l'obtenir en grains : emploi en aluminothermie et dans la protection des pièces en acier exposées à l'oxydation à haute température (calorisation).

Alliages d'aluminium. — Les alliages d'aluminium peuvent être répartis en trois groupes :

1° Alliages lourds ($d > 6$);

2° Alliages de densité moyenne ($3 < d < 6$);

3° Alliages légers ($d \leqslant 3$).

Parmi les alliages lourds, il faut citer les alliages Cu-Al contenant au plus

11 p. 100 d'aluminium, et spécialement le bronze de Sainte-Claire Deville contenant 10 p. 100 d'aluminium. Cet alliage remarquable a pour caractéristiques :

Recuit : R = 50-55; E = 20-25; A = 45-40.
Trempé : R = 60-70; E = 35-40; A = 16-10.

Son inoxydabilité, même à chaud, sa magnifique couleur, sa résistance au frottement lui ouvrent de nombreux débouchés. Mais il est difficile à couler. A ce sujet, il faut signaler les recherches récentes de MM. Galibourg et Brizon qui éclairent considérablement la question. On améliore les bronzes d'aluminium par des additions de manganèse, de nickel et de fer; on obtient ainsi des propriétés mécaniques vraiment surprenantes.

Les alliages de densité moyenne les plus intéressants sont ceux d'aluminium et de zinc, contenant parfois du cuivre et du plomb. Ils donnent dans l'industrie du décolletage de très bons résultats et fort intéressants; leurs densités sont voisines de 3; les types les plus courants renferment 15 à 18 p. 100 de zinc et donnent :

R = 23 à 28; E = 10 à 16; A = 23 à 15.

Les alliages Al-Cu renfermant de 6 à 15 p. 100 de cuivre sont aussi très employés, spécialement pour les pistons de moteurs.

Les alliages légers sont très nombreux; le type le plus intéressant, à tous les points de vue, est le duralumin qui renferme :

Cu = 3,5 à 4 p. 100; Mn = 0,5 à 1 p. 100; Mg = 0,5 p. 100; parfois Zn = 1,5 à 2 p. 100.

Cet alliage, trempé à 475°, ne voit pas ses propriétés modifiées, mais, abandonné à lui-même à la température ordinaire, il les voit singulièrement améliorées. C'est ainsi qu'on a :

	R	E	A	ρ
Après laminage	22	29	20	5
Aussitôt après trempe à 475°	20	8	22	8
48 heures plus tard à 20°	40	20	20	8

La trempe du duralumin n'est qu'un cas particulier d'un phénomène très général bien connu, notamment pour les aciers.

M. Drouets, représentant M. le Ministre du Commerce, *président d'honneur*, exprime à la Société d'Encouragement tous les regrets de M. le Ministre du Commerce qui, retenu à Sarreguemines par des engagements antérieurs, n'a pas pu, comme il l'espérait, assister à l'inauguration de l'Exposition ni entendre la belle conférence de M. L. Guillet. Il l'a chargé d'exprimer à la Société d'Encouragement tout l'intérêt qu'il porte à son importante manifestation. Les progrès déjà réalisés dans la fabrication et les emplois de l'aluminium et ses alliages sont un sûr garant de ceux qu'il nous réserve dans l'avenir. Ces progrès ont marché à pas de géant. Reprenant les prix de vente du kilogramme d'aluminium : 1.250 à 1.300 f en 1860, quelques années après les travaux de Sainte-Claire Deville; 19 f en

1890, après ceux d'Héroult; 1,70 f en 1909, M. Drouets rappelle qu'il y a moins de quinze ans, lorsqu'il s'occupait des douanes, les objets d'aluminium étaient encore si rares qu'on n'avait pas jugé à propos de les inscrire au tarif douanier autrement que sous la rubrique très générale des objets en métaux précieux. L'aluminium est aujourd'hui un métal banal, courant, et ce petit fait montre toute la grandeur de l'étape du progrès franchi en moins de quinze ans. L'aluminium n'en reste pas moins un métal précieux par ses intéressantes propriétés, comme vient de le démontrer M. Guillet, et qui nous est cher, car la possession de son minerai et de l'énergie hydroélectrique en fait un élément de notre prospérité nationale et en a fait aussi un des facteurs de la victoire ; elle nous assure qu'il sera aussi un des facteurs de notre sécurité, car nos techniciens sauront accroître la supériorité que la nature nous a donnée dans son domaine.

La séance est levée à 18 h. 45 m.

SÉANCE PUBLIQUE

DU LUNDI 23 MAI 1921

Présidence de M. L. Baclé, *président.*

La séance est ouverte à 16 h.

M. Dusaugey, Ingénieur civil des Mines, fait une communication sur *les emplois de l'aluminium en électricité* (1).

Le relèvement économique de notre pays dépend de la réalisation d'un immense programme de travaux publics parmi lesquels la distribution de l'énergie électrique dans tout le territoire français et l'électrification des chemins de fer viennent au premier rang après la reconstitution des régions dévastées.

L'exécution de ce programme va exiger la mise en œuvre de plusieurs centaines de mille tonnes de métal conducteur, représentant des milliards de francs. Si l'on donne la préférence à l'aluminium sur le cuivre, ces milliards resteront en France, sinon, ils partiront à l'étranger.

D'ailleurs, tout compte fait, l'aluminium fournit une solution plus économique que le cuivre, et il est parfaitement capable de remplacer le cuivre comme métal conducteur. Les excellents résultats obtenus dans les nombreuses installations faites depuis une dizaine d'années tant en France qu'à l'étranger (États-Unis, Canada, Allemagne) le prouvent surabondamment. Il suffit, dans la mise en œuvre de l'aluminium, d'observer les règles d'une technique un peu particulière, mais qui est

(1) Voir à la page 763 du présent numéro le texte *in extenso* de cette communication.

aujourd'hui parfaitement mise au point et qui a été exposée dans les rapports de la Commission de l'Aluminium nommée par l'Union des Syndicats de l'Électricité.

En raison de l'altérabilité à l'air humide de l'aluminium, assez impur, que l'on fabriquait il y a une vingtaine d'années encore, l'enthousiasme dont on s'était pris pour ce métal, comme conducteur électrique, était tombé. Les craintes du début, d'ailleurs peu fondées, ne le sont plus depuis longtemps, et déjà, quelques années avant la guerre, M. Dusaugey avait construit un transport d'énergie électrique au moyen de conducteurs aériens en aluminium qui a donné toute satisfaction et qui était très supérieur à ce que les Allemands avaient pu obtenir jusque là. Leurs travaux, pendant la guerre, sur la substitution de l'aluminium au cuivre, déficitaire chez eux, ont été précédés des nôtres et ne les ont pas égalés. Pendant la guerre, les nécessités de la défense nationale ont conduit M. Dusaugey à installer dans le Dauphiné de nouveaux transports d'énergie électrique avec conducteurs aériens en aluminium dans des conditions beaucoup plus difficiles qu'avant 1914 (altitudes élevées, c'est-à-dire : très basses températures et grands vents, et portées considérables). L'expérience a prouvé qu'en prenant certaines précautions, l'aluminium se montre très supérieur au cuivre et conduit à une solution beaucoup plus économique. Aussi est-ce l'aluminium qui a été, est et sera employé dans l'établissement des grands réseaux d'Etat, pour le transport de l'énergie dans nos régions dévastées.

En somme, l'aluminium a gagné sa cause dans cette application; il l'a gagnée même plus vite que le cuivre lui-même pour lequel il a fallu trente ans de luttes avant de pouvoir le substituer au fer sur les lignes télégraphiques aériennes.

M. Dusaugey énumère les caractéristiques que doit posséder l'aluminium employé comme conducteur électrique aérien (moins de 1 p. 100 d'impuretés, absence complète de sodium; $8{,}5 < R < 9$, etc.) et montre les solutions simples et ingénieuses qui ont été trouvées pour résoudre certains problèmes que pose son emploi comme conducteur aérien (épissures, portée critique entre pylônes de support, à cause du coefficient de dilatation élevé, etc.).

Il n'est pas douteux que l'aluminium est le métal de l'avenir pour le transport de l'énergie électrique. E. L.

M. Baclé, *président*, remercie vivement M. Dusaugey de son intéressante communication, dans laquelle il nous a montré, avec beaucoup de discrétion, que l'œuvre qu'il a accomplie en France avant la guerre était supérieure à celle des Allemands, beaucoup plus tard, pendant la guerre, alors qu'ils y étaient poussés par la nécessité; on tendait cependant à nous représenter leur œuvre comme entièrement nouvelle. Nous sommes heureux d'apprendre qu'en France, nous les avions devancés en faisant beaucoup mieux.

M. Zetter, Ingénieur des Arts et Manufactures, membre du Comité des Arts économiques de la Société d'Encouragement, fait une communication sur *les emplois de l'aluminium dans l'appareillage électrique* (1).

(1) Voir à la page 919 du présent numéro le texte *in extenso* de cette communication.

L'*aluminium*, de provenance essentiellement française, est un produit national qu'il importe de mettre en œuvre aussi souvent que possible. Il y a lieu d'étudier, pour en suggérer d'autres, les applications déjà faites dans chacune des trois formes d'emploi courant : fonderie, découpage ou emboutissage, et décolletage.

Fonderie. — La fonderie s'opère par deux procédés : au sable et en coquille. Ce dernier consiste à couler l'alliage d'aluminium dans des moules spécialement appropriés et construits une fois pour toutes, d'où une grande économie. En outre, les pièces ont un aspect de fini et de netteté remarquables, qui rend inutiles la plupart des opérations d'usinage. Enfin, on peut englober dans la masse, des pièces déjà préalablement terminées et mises ainsi en place sans ajustage.

Découpage et emboutissage. — Le découpage et l'emboutissage à la presse sont facilités par la malléabilité et la ductilité de l'aluminium. La fabrication des douilles ou supports de lampes à incandescence, appareils très répandus et dont le prix en aluminium est inférieur aux mêmes en laiton, est un des exemples des débouchés intéressants de l'aluminium embouti.

Décolletage. — La technique du décolletage montre que le travail utile est fonction da la vitesse de rotation du tour et de l'avance progressive de l'outil taillant. L'expérience montre que l'importance du travail et, par conséquent, de la main-d'œuvre, dépend de la nature du métal ouvré et que la proportion des salaires d'usinage propres à chaque métal est la même pour les tours à barre et les tours automatiques. On constate que le décolletage de l'aluminium doit s'appliquer à une qualité particulière d'alliage au zinc, spécialement étudiée et conçue pour cet usage, et dont l'emploi admet une main-d'œuvre sensiblement égale à celle du laiton, qu'il peut remplacer dans la plupart des cas.

Applications courantes. — Un grand nombre d'exemples concernant : l'appareillage électrique, le chauffage électrique, les magnétos, les moteurs et dynamos de faible puissance, la télégraphie sans fil, la téléphonie, les appareils de théâtre (jeu d'orgue), les compteurs et appareils de mesure, les applications à la traction mécanique, les applications domestiques, montrent l'étendue des services déjà rendus par l'aluminium et les avantages qu'on peut escompter en diffusant son emploi.

M. Zetter présente de très nombreux appareils ou objets — plus d'une centaine — dans lesquels l'aluminium entre en totalité ou en partie, soit en raison de sa légèreté, soit à cause de sa supériorité dans la construction ou l'emploi, que lui donnent ses autres propriétés sur les autres métaux; c'est ainsi qu'on a pu aller jusqu'à le substituer au bois en ébénisterie. Presque toujours, la substitution à un autre métal, lourd, procure un très grand avantage; la multiplicité des applications déjà réalisées est vraiment impressionnante. C'est presque toujours en France qu'on a eu tout d'abord l'idée de cette substitution et qu'on l'a réalisée pour la première fois. Les nouvelles possibilités paraissent illimitées. E. L.

M. Baclé, *président*, remercie M. Zetter de sa communication si suggestive. L'exposé qu'il vient de nous faire montre que l'emploi de l'aluminium en électrotechnique s'impose et s'imposera de plus en plus toutes les fois

qu'on étudiera rationnellement les nombreux problèmes qui se posent. Cet exposé, comme celui de M. Dusaugey, montre aussi que nous avons été des précurseurs : c'est là un gage de ce que nos savants techniciens nous réservent pour l'avenir, dans un domaine où le dernier mot est loin d'avoir été dit.

La séance est levée à 18 h. 30 m.

SÉANCE PUBLIQUE

DU 24 MAI 1921

Présidence de M. L Baclé, *président.*

La séance est ouverte à 17 h.

M. Flusin, professeur à l'Université de Grenoble, fait une communication sur *le magnésium, le calcium et le sodium; leurs propriétés, leur fabrication, leurs applications* (1).

Le magnésium, le calcium et le sodium s'obtiennent tous trois par électrolyse de leurs composés fondus. Ils sont caractérisés par une faible densité, bien inférieure à celle de l'aluminium, d'où leur surnom de métaux légers.

L'industrie du *magnésium* est restée pendant longtemps l'apanage de l'Allemagne qui possède dans ses gisements inépuisables de Stassfurt, le minerai de ce métal, le chlorure de magnésium; depuis 1914, la France, l'Angleterre et les États-Unis ont dû aborder l'extraction du métal, en vue de leurs fabrications de guerre. Sa fabrication présente de grandes difficultés qui résultent de la nécessité d'employer du chlorure de magnésium pur et anhydre. Ces difficultés ont été vaincues pendant la guerre par la Société d'Électro-Chimie.

Les dernières années écoulées ont marqué un développement très net des applications physiques et chimiques du magnésium. Celui-ci forme depuis longtemps la base des compositions éclairantes utilisées en pyrotechnie et en photographie; par la méthode de Grignard, il est devenu un agent important de synthèse organique et il est employé comme réducteur pour la préparation de certains éléments, notamment du bore et du silicium. Il constitue un désoxydant très apprécié en métallurgie, pour le raffinage du cuivre, du laiton, des bronzes, du nickel et de l'aluminium. Il a donné d'excellents résultats pour la déshydratation des huiles et de l'aniline; il entre enfin dans la formule de certains explosifs.

Les applications physiques du magnésium sont relativement récentes; elles paraissent susceptibles d'ouvrir à ce métal des débouchés importants, soit dans l'industrie électrique, soit dans la construction des avions, des dirigeables et des

(1) Voir à la page 787 du présent numéro le texte *in extenso* de cette communication.

automobiles. On a en effet essayé avec un plein succès l'emploi d'alliages à haute teneur en magnésium, doués de constantes mécaniques très satisfaisantes et d'une légèreté jusqu'ici sans exemple, puisque leur densité ne dépasse pas 1,8.

Un alliage Mg-Zn, connu sous le nom d'*elektron*, fabriqué en Allemagne pendant la guerre, a trouvé d'assez intéressantes applications physiques. Les Allemands fondent de grands espoirs sur cet alliage qui paraît appelé à jouer chez eux le même rôle que l'aluminium dans notre pays.

Le *calcium*, autrefois curiosité de laboratoire, a d'abord été fabriqué en Allemagne. Ce métal se signale par des affinités chimiques énergiques ; il a trouvé des applications, jusqu'ici restreintes, comme réducteur en chimie minérale et en chimie organique, comme désoxydant métallurgique, surtout sous forme d'alliages. Son principal débouché est la fabrication de l'hydrure de calcium (*hydrolithe*) qui dégage facilement de l'hydrogène et sert au gonflement des aérostats en campagne. L'alliage de plomb-calcium est employé avantageusement comme métal pour coussinets.

Le *sodium* n'intervient guère dans l'élaboration des alliages ; il peut cependant remplacer l'antimoine dans le plomb antimonieux. La production, relativement importante, du métal, est presque entièrement absorbée par des applications d'ordre chimique : synthèse de l'indigo et des cyanures, fabrication du peroxyde de sodium et de ses dérivés : *oxylithe*, *oxone*, eau oxygénée, perborate de sodium, peroxydes métalliques, tous corps qui dégagent facilement de l'oxygène.

Il convient de remarquer que la France, tributaire de l'Allemagne avant la guerre, pour ces trois métaux, les fabrique couramment aujourd'hui. E. L.

M. Lindet signale qu'un lingot du premier magnésium fabriqué en France a figuré à l'Exposition qui avait été organisée en 1917 à la Société d'Encouragement, en vue de présenter aux consommateurs français tous les produits qui venaient d'Allemagne avant la guerre et pour lesquels elle s'était créé une sorte de monopole.

M. Baclé, *président*, remercie M. Flusin de la savante communication, si documentée, qu'il vient de nous faire sur les nouveaux métaux légers et de la peine qu'il a prise en n'hésitant pas à venir exprès de Grenoble pour nous donner la primeur de tous les faits qu'il a ressemblés à leur sujet. Nul n'est plus qualifié que lui pour nous les donner : par ses travaux personnels sur les propriétés de ces métaux et sur leur élaboration en usine, il est un de ceux qui ont le plus contribué à la création de cette industrie, une des gloires, aujourd'hui, de la région dauphinoise. Tous ces renseignements, nous les retrouverons dans notre *Bulletin*, qui sera ainsi une source de documents précieux pour les chercheurs qui voudront poursuivre des travaux sur ces métaux nouveaux, appelés sans doute, eux aussi, comme l'aluminium, à un grand avenir.

La séance est levée à 18 h. 45 m.

SÉANCE PUBLIQUE

DU 25 MAI 1921

Présidence de M. L. BACLÉ, *président.*

La séance est ouverte à 16 h.

M. TRILLAT, chef de Laboratoire à l'Institut Pasteur, membre du Comité des Arts chimiques de la Société d'Encouragement, fait une communication sur *l'emploi de l'aluminium dans les industries de fermentation* (*brasserie, etc.*), *en laiterie, en fromagerie, etc.* (1).

On a beaucoup contesté à l'aluminium la possibilité d'être employé dans les industries alimentaires où il semblait cependant devoir remplacer aisément le fer, le cuivre, le fer-blanc. En fait, aux débuts de la fabrication industrielle de l'aluminium, ce métal était assez impur et, par suite, assez facilement altérable, mais il n'en est plus de même aujourd'hui. Il est certain que, même de très bonne qualité, comme il est fourni aujourd'hui, il peut encore donner lieu à des attaques par certains des liquides avec lesquels il est en contact, surtout si les conditions d'emploi sont défectueuses, mais cela est généralement sans inconvénients. Il va de soi que l'aluminium étant attaqué par les alcalis et les acides minéraux, ne doit pas entrer en contact prolongé avec ces corps, même dilués. En tout cas, les sels d'aluminium ne sont pas toxiques, — ils entrent pour une forte proportion dans un grand nombre de végétaux comestibles (champignons 4 p. 100 de Al^2O^3) — et le métal ne communique aucune saveur aux produits alimentaires avec lesquels il est en contact.

Cela résulte des nombreuses expériences et essais faits par M. Trillat depuis plusieurs années : les acides organiques n'attaquent pas l'aluminium ou ne l'attaquent que très peu, et, à coup sûr, beaucoup moins que le cuivre dans les mêmes conditions d'emploi. Quand elle se produit, l'attaque se traduit par la formation sur le métal d'un dépôt dont la couleur varie du blanc jaunâtre au brun rougeâtre. L'examen microscopique et l'analyse montrent que ce dépôt est formé en presque totalité d'alumine hydratée. La vitesse et l'intensité de l'attaque, pour un même liquide, dépendent de sa température, de sa concentration, de la présence de l'acide carbonique, du renouvellement plus ou moins fréquent du contact avec l'air après contact avec les liquides, et, quand il s'agit d'eau naturelle, de son degré hydrotimétrique. Comme rien n'indique *a priori* le degré de pureté du métal qu'on se propose d'employer à un usage déterminé, il est toujours prudent de savoir comment et jusqu'à quel point se produira l'attaque. On peut apprécier préalablement cette attaque, en cas de nouvelle application, au moyen d'un appareil qui la mesure par la quantité d'hydrogène dégagé en un temps donné au contact du liquide envisagé, la formation de l'alumine étant toujours la conséquence de la décomposition de l'eau. On diminue toujours les effets de l'attaque en rinçant à l'eau si possible, après

(1) Voir à la page 813 du présent numéro le texte *in extenso* de cette communication.

vidange, le récipient en aluminium et, dans tous les cas, en l'essuyant rapidement à sec.

Contrairement à ce qu'on a avancé, l'aluminium pur ne s'altère pas avec le temps, dans les magasins.

Pour chaque application nouvelle, on doit déterminer le meilleur mode d'usinage du métal, soudure, emboutissage, sertissage, rivetage : par exemple il convient que les pots à lait de 20 l soient faits d'une tôle épaisse, emboutie, d'une seule pièce et à angles arrondis. Selon que le métal est laminé, coulé, écroui, recuit, mat, ou poli, il se conserve plus ou moins bien, selon le cas.

L'emploi de l'aluminium aux usages culinaires s'est répandu plus rapidement à l'étranger (Autriche, Allemagne) que chez nous, où, avant la guerre, on n'en faisait guère que des articles légers de tourisme et de voyage (gobelets, bidons, cuvettes, plats à barbe, couverts). Actuellement, il y a revirement et 6,5 p. 100 de l'aluminium produit en France passent dans des articles de ménage : casseroles, marmites, cafetières, plats à œufs, pots, poêles, couverts. La boîte de conserve en aluminium est appelée à un grand avenir; le papier d'aluminium remplace déjà avantageusement celui d'étain pour envelopper les denrées alimentaires (chocolat), le tabac, etc.

En brasserie, les recherches ont montré qu'il peut être substitué sans aucun inconvénient au cuivre; sa légèreté le rend précieux pour la construction du petit matériel; il n'exerce aucune influence nocive sur la vitalité de la levure dans les moûts, sur la marche de la fermentation et la limpidité de la bière. Ici apparaît la nécessité du polissage, les microorganismes restant très adhérents dans les cavités que présentent les surfaces mates. On l'emploie avec succès en vinification et distillerie, en laiterie et en fromagerie; dans ce dernier cas toutefois, si le fromage est salé, il faut procéder au rinçage aussitôt après emploi. Il faut aussi éviter les nettoyages au carbonate de soude s'ils ne peuvent pas être suivis immédiatement d'un rinçage parfait. E. L.

M. Baclé, *président*, remercie M. Trillat. Depuis longtemps, il a étudié les applications de l'aluminium dans les industries alimentaires et a réduit à néant les défiances justifiées qu'avaient éveillées à son égard les industriels, trop zélés de la première heure qui, sans méthode, se sont lancés dans son emploi. Tout limités que soient les cas où l'aluminium peut être employé dans les industries où l'action chimique entre en jeu — comme pour la plupart des autres métaux d'ailleurs — ces cas restent encore assez nombreux et sont d'une telle importance que, même dans cette direction, l'aluminium est assuré d'un important débouché si le public consommateur se rend mieux compte de ses avantages.

M. Guérin, ingénieur, chef des Laboratoires de « l'Aluminium français », fait une communication sur *l'emploi de l'aluminium dans les industries chimiques et les procédés de fabrication du matériel en aluminium* (*soudures*, *recouvrements*, *émaillage*, *laquage*, *métallisation*, *etc.*) (1).

(1) Voir à la page 841 du présent numéro le texte *in extenso* de cette communication.

Les éléments en aluminium ou en alliages d'aluminium que les industriels et les constructeurs ont à leur disposition pour la construction du matériel ou pour les travaux de chaudronnerie sont les mêmes que pour les autres métaux : lingots, barres, tubes, profilés, tôles, fils.

Le métal peut se souder très facilement à lui-même, le plus avantageusement, par soudure autogène au chalumeau oxyacétylénique; il convient toutefois d'employer un flux décapant, qui dissout l'alumine formée au cours de l'opération. Ce flux, renfermant des sels alcalins, la pièce soudée doit être rincée à grande eau pour les faire disparaître, car la moindre trace suffirait pour compromettre la solidité de la soudure dans la suite.

L'aluminium se prête facilement à la soudure électrique.

Les tubes peuvent se fixer bout à bout au moyen de raccords à brides, à portées coniques ou non, par parties filetées. Les câbles électriques ne doivent jamais être soudés. M. Dusaugey les raccorde en plaçant leurs deux extrémités, côte à côte dans un manchon méplat de même métal, que l'on tord ensuite sur lui-même, très facilement, à la main, avec deux tourne-à-gauche. La jonction est parfaite tant au point de vue mécanique qu'au point de vue électrique.

L'aluminium se martèle comme le cuivre; au cours de l'opération il s'écrouit; pour éviter les arrachements sous le marteau ou aux emboutissages ultérieurs, il convient de le recuire. Il existe des presses à emboutir modernes qui conviennent parfaitement à l'exécution des objets fabriqués par grandes quantités. Le rivetage est facile; il exige cependant aussi quelques précautions.

Si l'on veut que l'aluminium résiste parfaitement aux agents atmosphériques ou aux agents chimiques qui l'attaquent, on dispose de moyens de protection nombreux, vernis, peintures, brunissage par carbonisation d'un hydrocarbure appliqué en couche épaisse sur l'objet à protéger et chauffage de celui-ci, métallisation par pulvérisation (procédé Schoop), et par procédé galvanique :.cuivrage, nickelage, argenture, dorure; ébonitage, dépôt de bakelite et émaillage avec la laque indochinoise. Ces deux derniers recouvrements procurent en outre l'isolement électrique. Tous ces enduits adhèrent très bien. On peut dire qu'il existe toujours un recouvrement qui convient à une application projetée.

Le décapage se pratique au jet de sable, en bains d'alcalis caustiques à 10 p. 100, ou dans les acides fluorhydrique ou phosphorique. Il communique au métal une surface mate très agréable qu'il y a quelquefois avantage à conserver telle quelle.

Un procédé curieux est celui de la *calorisation* dans lequel l'aluminium et, peut-être aussi l'alumine, procure une protection contre l'oxydation au fer, à l'acier et à la fonte lorsque ces corps sont portés fréquemment à des alternatives de températures élevées jusqu'à 800°. On protège ainsi des tubes de chaudières et de pyromètres. L'objet à protéger est placé dans une enceinte close, en contact avec de la grenaille d'aluminium en mouvement; en même temps, on élève progressivement la température. La protection paraît être due à la formation, dans la couche périphérique de l'objet, d'un alliage fer-aluminium imprégné de plus en plus par de l'alumine vers l'extérieur. La métallisation au moyen du procédé Schoop fournit des résultats analogues.

Voici quelques-unes des industries dans lesquelles, protégés ou non comme il vient d'être dit, l'aluminium ou ses alliages ont reçu des applications : transport et manutention des liquides neutres (wagons-citernes), extraction des corps gras, extraction des cires et huiles végétales; hydrogénation des huiles industrielles; industrie du suif et stéarinerie; extraction et distillation des essences et des parfums; fabrication des matières plastiques; dégraissage des chiffons d'essayage; industrie de la soie artificielle viscose, de l'acéto-cellulose et des nitro-celluloses; fabrication de l'acide nitrique; industrie du caoutchouc et de la gutta-percha; distillation des phénols et fabrication de l'acide acétique par synthèse.

L'aluminium, protégé ou non, peut servir à la fabrication du petit matériel dans un grand nombre d'industries : on peut en faire des essoreuses, des filtres. M. Manoncourt a construit une balance de précision pour laboratoire en aluminium; le panneautage des autobus parisiens est en tôle d'aluminium peinte.

E. L.

M. Baclé, *président*, remercie M. Guérin de son intéressante communication, nourrie de faits et de renseignements pratiques précis. M. Guérin a mis ou fait mettre en œuvre tous les procédés qu'il nous a décrits; il les a essayés, éprouvés; il sait les résultats qu'on peut attendre de chacun d'eux. C'est à lui qu'il convient de s'adresser pour toute application, nouvelle ou non, que l'on projette pour l'aluminium. Il peut presque toujours répondre à coup sûr; dans le cas contraire, il sait dans quelle voie il convient de se diriger pour limiter les tâtonnements, et il est tout disposé à entreprendre ou à faire entreprendre, par tous ceux qui y sont intéressés, les recherches que pourraient susciter des idées d'applications nouvelles.

M. Guérin a été l'organisateur de cette exposition si réussie. Nous tenons à l'en féliciter et à l'en remercier. Mais son zèle et son dévouement ne se bornent pas là : après-demain, vendredi, à 17 h., il dirigera une conférence-promenade dans l'Exposition; il recommencera dimanche à 11 h. De même, notre collègue, M. Guillet, malgré ses nombreuses occupations, trouvera le moyen d'en diriger une aussi, le samedi 28 mai, à 16 h., avant notre dernière conférence.

La séance est levée à 18 h. 30 m.

SÉANCE PUBLIQUE

DU 26 MAI 1921

Présidence d'honneur de M. Laurent-Eynac,
Sous-Secrétaire d'État de l'Aéronautique et des Transports aériens.

La séance est ouverte à 17 h. sous la présidence de M. Laurent-Eynac. M. Fortant, Ingénieur en chef du Génie maritime, directeur de la Section technique de l'Aéronautique, a pris place au Bureau.

M. Baclé, *président de la Société*, prononce les paroles suivantes :

Monsieur le Ministre,

Au nom de la Société d'Encouragement, j'ai l'agréable devoir de vous exprimer tous nos remerciements pour la haute marque de bienveillant intérêt que vous donnez à notre Exposition des Applications de l'Aluminium en l'honorant aujourd'hui de votre visite et en présidant la conférence que M. le Colonel Grard, muni de l'autorisation que vous avez bien voulu lui accorder à cet effet, va donner devant nous.

Cette conférence, dans laquelle le savant officier, spécialisé dans ces matières, va exposer les applications que les alliages à base d'aluminium et les métaux légers de la même famille reçoivent actuellement en aéronautique, constitue en effet l'un des principaux attraits de notre manifestation, car elle va nous permettre d'apprécier en même temps, sur des données précises, toute l'importance de la contribution apportée par la jeune Direction de l'Aviation dans le développement des applications de l'aluminium.

Sous son impulsion avisée, ces applications ont pris en effet ces dernières années un essor nouveau et inattendu, lorsque la guerre nous eut révélé toute l'étendue des services que nous pouvions espérer de ce métal qui allait devenir à son tour un facteur essentiel de la défense nationale. Grâce à lui, en effet, il devenait possible de réduire le poids de nombreuses pièces entrant dans l'approvisionnement des armées ou dans le chargement du soldat en campagne, et, par-dessus tout, il apportait à l'aviation le métal léger qui lui permettrait de tirer le meilleur parti de ces engins merveilleux qu'elle lançait à la conquête des airs et dont l'intervention allait transformer la physionomie des batailles à venir. Et nous comprenons aussitôt comment la guerre, faisant appel à toutes les ressources industrielles dont l'homme peut disposer pour la lutte, l'a obligé à demander aux métaux qu'il emploie toutes les qualités souvent contradictoires de malléabilité, de ténacité, de résistance ou

de légèreté dont ils sont susceptibles ; c'est ainsi du reste que, depuis longtemps déjà, la préoccupation des besoins de guerre avait provoqué dans l'étude de la constitution et des propriétés de l'acier toutes ces recherches savantes qui ont transformé la métallurgie de ce métal et abouti à la préparation de ces alliages spéciaux, de ces aciers à grande résistance dont tant d'industries nouvelles, essentiellement pacifiques, comme celle de l'automobile par exemple, ne peuvent plus se passer maintenant.

Il en est de même pour l'aluminium et ses alliages : les exigences impérieuses nées de la guerre ont provoqué aussi dans la fabrication de ce métal des études savantes, des progrès nouveaux, des applications insoupçonnées jusque là, dont l'Exposition présente nous apporte de nombreux exemples. C'est que, pour la lutte aérienne, l'aluminium est bien le métal nécessaire, et sa fabrication prend ainsi en quelque sorte une importance vraiment nationale, car tous les perfectionnements dont elle a été l'objet devaient avoir aussitôt dans la guerre et conserver ensuite dans la paix leur répercussion obligée sur le développement de l'aviation, de cette cinquième arme de guerre qui, dans la lutte industrielle qui succède maintenant à la lutte armée, va s'imposer désormais comme un élément essentiel de l'outillage des générations à venir. Elle leur apportera en effet le moyen de réaliser ce rêve irréalisable qui depuis l'origine du monde a toujours hanté l'esprit de l'homme lorsqu'il demande à l'oiseau de lui livrer le secret de ses ailes pour atteindre à son tour, loin de la terre dans un ciel sans limites, les hauteurs inaccessibles auxquelles il aspire.

Nous comprenons ainsi que l'aviation entraînera dans nos mœurs des transformations profondes qu'il nous est encore impossible de prévoir et l'aluminium en sera l'un des principaux facteurs, de sorte que ce métal servira peut-être à caractériser l'âge à venir, comme la pierre éclatée ou polie, le bronze et le fer, l'ont fait pour les âges antérieurs. L'Exposition présente, dans laquelle nous avons réuni les principales applications actuelles de l'aluminium, marquera ainsi le point de départ de cet essor nouveau et, à ce titre, elle fera certainement époque dans l'histoire de ce métal.

La Société d'Encouragement qui s'est toujours attachée dans le passé à mettre en évidence et qui parfois même a su provoquer les progrès principaux qui ont marqué depuis sa fondation l'histoire de l'industrie française, se devait à elle-même de présenter aujourd'hui dans cette Exposition, la première en date, ceux dont l'aluminium et ses alliages ont été jusqu'à présent l'objet, et, en son nom, je ne saurais trop vous remercier, Monsieur le Ministre, de l'appui autorisé par lequel vous avez bien voulu seconder notre initiative et du témoignage de bienveillant intérêt que vous nous accordez aujourd'hui en venant présider cette séance.

Le Lieutenant-Colonel GRARD, membre de la Commission de Contrôle aéronautique interalliée à Berlin, fait une communication sur *les alliages légers et leur emploi en aéronautique* (1).

L'analyse du problème aéronautique conclut à la nécessité d'un choix judicieux des matériaux. Quatre facteurs sont à envisager :

a) *Le facteur légèreté.* L'examen conduit immédiatement à écarter l'acier pour les petites pièces.

b) *Le facteur sécurité.* L'étude des limites élastiques et du taux de travail, des modules d'élasticité et des moments d'inertie conduit sans aucune révolution profonde dans la construction du planeur, à l'emploi du métal et de préférence à celui des alliages légers dans les parties maîtresses de l'appareil. Le bois et la toile ne sont pas totalement éliminés. Les métaux légers permettent d'augmenter les moments d'inertie à égalité de poids. On est donc déjà conduit à accroître les dimensions des parties vitales si on les fait en aluminium et notamment à faire l'aile épaisse et non plus mince;

c) *Le facteur aérodynamique.* L'aptitude au vol du planeur diminue lorsque ses organes parasites (réservoir, haubans, etc.) présentent en section droite une surface importante par rapport à celle des ailes (surfaces portantes). L'expression de la finesse montre cependant qu'il y a une limite qu'il ne faut pas dépasser; l'expérience fera connaître cette limite. Quoi qu'il en soit, la réduction des résistances parasitaires, obtenue par l'installation dans les ailes, d'organes de consolidation, de moteurs, d'approvisionnement d'essence, pose un problème aérodynamique très important dont on étudie les éléments.

Lorsque la solution de ce problème est possible, on aboutit à *l'aile épaisse* qui caractérise l'avion *complètement métallique.* Le bois et la toile sont alors éliminés. La porte est ouverte plus que jamais à l'entrée en jeu des alliages légers et ultra-légers, car on est moins limité dans les dimensions à donner à la section des organes pour profiter de l'augmentation du moment d'inertie que procure l'accroissement de ces dimensions.

d) *Le facteur économique.* Il est primordial en temps de paix et n'est pas sans intérêt en temps de guerre. L'avion complètement métallique a l'immense avantage de fournir la solution la plus économique : économie de combustible, diminution du nombre des hangars à prévoir, etc.

Le Colonel Grard passe en revue les principaux types de construction moderne employés pour les avions soit pour des éléments d'appareils, soit pour des appareils tout entiers; ils matérialisent les notions précédemment présentées.

L'idée de l'aile épaisse revient à notre compatriote Levavasseur qui, en 1910, l'aurait déjà employée pour son avion *Antoinette* s'il avait pu disposer à cette époque d'un moteur assez puissant. Depuis, cette idée n'a pas reçu en France toute la considération qu'elle mérite.

Pour déterminer le choix des métaux ou alliages légers à employer, il convient d'envisager les conditions à réaliser en aéronautique et les propriétés mécaniques

(1) Voir à la page 863 du présent numéro le texte *in extenso* de cette communication.

des différents métaux ou alliages dont on dispose; c'est ainsi qu'il faut tenir compte, pour l'aluminium et les alliages d'aluminium de moulage : de l'influence de leur chaleur spécifique et de leur conductibilité calorifique sur la durée des organes de moteurs d'aviation; de l'influence du grand moment d'inertie sur les vibrations; de l'influence de la dureté dans la zone thermique de travail; pour les alliages légers d'aluminium à haute résistance, des conséquences des températures de chauffage et de la vitesse de refroidissement de l'alliage, etc.

Pour les moulages, on fait usage, par exemple pour les pistons, d'un alliage contenant de 4 à 12 p. 100 de cuivre.

Le duralumin n'a d'intérêt que s'il est laminé et profilé : c'est un aluminium à 3,5 à 4 p. 100 de cuivre, 0,5 p. 100 de magnésium; 0,5 à 1 p. 100 de manganèse, ne renfermant comme impuretés que des traces d'alumine, de fer et de silicium, de densité $d = 2,9$. On sait qu'il n'acquiert ses propriétés définitives qu'un certain temps après la trempe. L'expérience montre qu'il est entièrement stabilisé au bout de huit jours. C'est cet alliage qu'il convient d'employer pour les structures. Il se protège bien contre les intempéries, et même contre l'eau de mer, au moyen d'un enduit de bakelite.

L'adoption des avions complètement en alliages légers pose de nombreux problèmes secondaires : les effets des grandes variations de température sur les propriétés du métal; la protection contre les agents atmosphériques, l'eau de mer; l'étude rationnelle du rivetage, seul mode d'assemblage admissible. Tous ces problèmes ont été résolus : des avions ainsi conçus ont volé 150 heures, séjourné deux ans au front et trois ans en magasin sans cesser de donner ce qu'on en attendait.

D'autres perspectives sont possibles si on envisage un alliage plus léger que l'aluminium, l'elektron par exemple, qui fit son apparition vers la fin de la guerre, sur le zeppelin L. 49 tombé à Bourbonne-les-Bains. L'alliage le plus avantageux est un magnésium à 5 p. 100 d'aluminium et à 5 p. 100 de zinc. Il a déjà reçu des applications ailleurs qu'en aéronautique (porte-balais, archets de trolley); il ne présente aucun danger d'inflammation pendant l'usinage, quoi qu'on en ait dit, et il supporte une vitesse de coupe très élevée. Il se protège bien aussi au moyen d'un enduit à la bakelite.

E. L.

M. Laurent-Eynac, *président d'honneur*, félicite le Lieutenant-Colonel Grard de son intéressante communication; il assure l'auditoire de l'attention que le Sous-Secrétariat de l'Aéronautique et des Transports aériens apporte à la réalisation de grands avions entièrement métalliques et à l'emploi des alliages légers. Tous ses efforts tendent actuellement vers la création de semblables avions.

La séance est levée à 18 h. 30 m.

SÉANCE PUBLIQUE

DU 28 MAI 1921

Présidence de M. L. Baclé, *président.*

La séance est ouverte à 17 h.

Sont présentés pour devenir membres de la Société et admis séance tenante :

M. Chaumat (Henri), (O. ✻), professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers, 26, rue Ernest-Renan, Paris (15e), présenté par MM. Desroziers et Guillet;

M. Flusin (Georges), (✻) professeur à l'Université de Grenoble, Faculté des Sciences, à Grenoble (Isère), présenté par M. Baclé;

M. Delers (J.), secrétaire de l'Union syndicale des Techniciens de l'Industrie, du Commerce et de l'Agriculture (Section lyonnaise), 12, rue de Condé, Lyon (Rhône), présenté par M. Roger Francq;

M. Faroux (Charles-Ernest), ancien élève de l'École polytechnique, ingénieur, 48, rue de Chézy, Neuilly-sur-Seine (Seine), présenté par MM. Lindet et Georges Claude (1920);

M. Arcay (Georges-Pierre), chef du Laboratoire de Chronométrie à la Faculté des Sciences de Besançon, 7, rue Chifflet, Besançon (Doubs), présenté par M. Lebeuf;

M. Passerat (Hector), Ingénieur des Mines, fondeur, 6, rue de Fontenay, Nogent-sur-Marne (Seine), présenté par MM. Masse et Carpentier;

M. Montupet (Léon), industriel, fonderies d'aluminium à Nogent-sur-Oise et à Nanterre, 11, boulevard Lannes, Paris (16e), présenté par MM. A. Montupet et L. Guillet;

Le Laboratoire d'Électricité industrielle, Faculté des Sciences, Université de Gand, rue du Pétrole, Gand (Belgique), présenté par M. Lemaire (1920);

La Société d'Éclairage, Chauffage et Force motrice, 22, rue de Calais, Paris (9e), présentée par M. René Masse;

M. Raymond (Pierre-Claude-Lucien), directeur de la Société française d'Applications de l'Aluminium, Thonon-les-Bains (Haute-Savoie), présenté par M. Baclé;

M. Lery (André-Jean), ancien élève de l'École polytechnique, rédacteur en chef de *La Machine moderne*, 121, rue La-Fayette, Paris (10e), présenté par le général Sebert et M. Didier;

M. Boudry (Charles), ingénieur-mécanicien, à Oron-la-Ville, canton de Vaud (Suisse), présenté par M. Ringelmann (membre à vie). M. Boudry est actuellement en mission à la Station d'Essais de Machines, envoyé par le Gouvernement suisse.

Lecture est donnée de :

1° Un rapport, présenté par M. Marre, au nom du Comité des Arts économiques, sur un *nouveau type de fraises pour le travail des métaux*, présentées par M. Louis Bozonnet et construites par MM. Bonnaffous, Bozonnet et Cie (1);

2° Un rapport, présenté par M. Marcel Magne, au nom du Comité des Constructions et Beaux-Arts, sur un *procédé destiné à rendre l'aquarelle inaltérable*, imaginé par M. Juan E. Hernandez Giro (2).

Ces deux rapports sont approuvés.

M. de Fleury, Ingénieur des Arts et Manufactures, fondeur d'aluminium et constructeur-mécanicien, fait une communication sur *l'avenir des métaux légers dans la construction mécanique et en particulier dans l'industrie automobile* (3).

Les avantages de l'emploi des alliages légers (d'aluminium) ou ultra-légers (de magnésium) tant dans la construction métallique (charpentes, ponts, etc.) que dans la construction mécanique se justifient par les considérations suivantes.

Il convient, pour comparer ces alliages légers à l'acier, communément employé jusqu'à présent, de considérer les grandeurs qui interviennent dans la résistance mécanique des métaux dans les diverses applications qui peuvent en être faites. Les principales de ces grandeurs sont : la densité D′, la résistance à la traction R′, et le coefficient d'élasticité E′. Si on calcule le rapport de ces grandeurs à celui des correspondantes D, R, et E, pour l'acier, on trouve qu'on a très approximativement :

$$\frac{D}{D'} = \frac{R}{R'} = \frac{E}{E'} = \text{constante} = C. \qquad [1]$$

C est un coefficient caractéristique du métal léger ou ultra-léger comparé à l'acier. Il est égal à :

$2{,}8 = C_a$, pour les alliages usuels d'aluminium;
$4{,}2 = C_m$, pour les alliages usuels de magnésium.

L'existence de cette constante peut être le fait d'un simple hasard; elle a certainement une signification en ce qui concerne la constitution de la matière dont il serait intéressant de constater la généralité et de tirer des conclusions philosophiques. Quoi qu'il en soit, on peut déjà tirer de ces égalités fondamentales, pour les alliages légers ou ultra-légers, des conclusions pratiques qui montrent quel avenir industriel est réservé à ces alliages.

(1) Voir le *Bulletin* de mai 1921, p. 420.
(2) Voir le *Bulletin* de mai 1921, p. 417.
(3) Voir à la page 895 du présent numéro le texte *in extenso* de cette communication.

Notion généralisée des charges et des surcharges. — Toute pièce métallique ou tout ensemble mécanique travaille non seulement pour résister aux forces extérieures (efforts transmis, poids portés) — ce sont les surcharges — mais aussi aux efforts intérieurs, souvent prédominants, dus uniquement au poids propre ou à l'inertie des organes. C'est le cas pour un rotor animé d'une grande vitesse. Ce sont ces efforts que M. de Fleury appelle la charge.

M. de Fleury démontre qu'en vertu de la relation [1], des organes soumis uniquement à la charge, n'ont besoin que de sections et dimensions identiques, pour posséder une même solidité et une même sécurité, avec les mêmes déformations et mêmes limites d'emploi, qu'il s'agisse d'acier ou de métal léger.

Par exemple, la portée limite de poutres identiques sans surcharge, la hauteur de chute limite, la vitesse limite des chocs ou de rotation d'organes identiques de formes et sections seront les mêmes, qu'il s'agisse d'acier, d'aluminium ou de magnésium. En effet, il y a proportionnalité entre les efforts proportionnés aux masses, c'est-à-dire aux densités, et les résistances de la matière.

Mais on voit que, dans ce cas, il n'y a besoin, pour obtenir un usage et une sécurité identiques, que d'un poids de métal égal à :

37 p. 100 du poids de l'acier si on emploie l'aluminium;
24 p. 100 du poids de l'acier si on emploie le magnésium.

M. de Fleury démontre ensuite qu'au seul point de vue des surcharges, il y a nouvelle diminution de poids en employant les alliages légers, parce qu'on peut augmenter les sections et, par suite, et d'une manière considérable, les moments d'inertie et les moments résistants de ces sections.

Ce gain est variable suivant les modes divers de travail; plusieurs exemples de calculs sont donnés par l'auteur.

En flexion, par exemple, à surcharges et portées égales, dans l'hypothèse de sections semblables, il n'y a besoin que d'un poids de métal égal à :

70 p. 100 du poids de l'acier si on emploie l'aluminium;
60 p. 100 du poids de l'acier si on emploie le magnésium.

Dans le cas mixte où il existe, dans une construction d'ensemble en acier, un rapport déterminé entre la charge et la surcharge, on voit que, dans une interprétation en métal léger, pour les parties correspondant à la charge, il ne sera pas nécessaire d'accroître la section des organes. Pour la part correspondant à la surcharge, la section devra être renforcée; cependant, il en résultera même un gain de poids considérable sur la charge.

Ces conclusions sont résumées dans des tableaux qui mettent en évidence les avantages des métaux légers et ultra-légers comparés sur l'acier.

M. de Fleury cite de nombreux exemples d'applications de ces principes en construction mécanique et automobile, puis il expose les possibilités considérables qui sont ouvertes, sans s'attarder aux applications à l'aviation qui ont fait l'objet de la communication du Colonel Grard.

Dans un mécanisme en mouvement, par le seul choix des vitesses de régime, le constructeur peut, en effet, largement répartir à sa guise la relativité des charges et des surcharges; autrement dit, l'emploi des métaux légers lui donne effectivement, à un très haut degré, une liberté supplémentaire dont tout le parti n'a pas encore été tiré.

De même, au point de vue constructif et statique, l'emploi des métaux légers est susceptible de reculer largement les limites des surcharges, c'est-à-dire, soit des tonnages utiles, soit des dimensions, partout où les métaux pourront être protégés, d'une façon efficace, contre les agents atmosphériques.

Envisageant l'avenir, l'auteur fait ressortir la possibilité d'une formule de véhicule automobile, susceptible de transformer les conditions économiques d'emploi des voitures (répartition à 50 p. 100).

	Kilogrammes.		
	Acier	Al	Mg
Charge { fraction affectée à supporter la charge	200	74	48
Charge { fraction affectée à supporter la surchage	200	114	124
Surcharges organiques	150	150	150
Poids du véhicule à vide	550	368	322
Surcharges utiles	250	250	250
Poids du véhicule chargé en ordre de marche	800	618	572

Les véhicules en métaux légers, outre leur rigidité plus grande, posséderaient une suspension infiniment meilleure que ceux en acier et une meilleure adhérence sur mauvaise route. En effet, le rapport entre les masses suspendues et les masses non suspendues serait très amélioré, toute la surcharge suspendue restant constante.

En outre, la consommation d'essence et des pièces sujettes à usure serait très diminuée, et cela dans le rapport des poids totaux, qui sont bien moindres dans le cas des métaux légers que de l'acier. Un moteur plus faible suffirait aussi, à effort de traction égal, à assurer des vitesses commerciales égales.

Il y a, de plus, égalité de confort entre les deux véhicules.

L'expérience faite avec une automobile toute en aluminium sauf 150 kg environ de pièces qui, inévitablement doivent être faites en acier, a confirmé toutes ces prévisions.

M. de Fleury termine en donnant quelques précisions relatives aux mises au point auxquelles il procède depuis plus de deux ans, touchant le magnésium, qu'il présente comme un métal qui sera, à bref délai, un émule de l'aluminium, au moins pour certains organes de construction mécanique, du fait de sa densité encore plus faible que celle de l'aluminium.

Il n'est pas douteux qu'en s'inspirant des considérations qui précèdent et en tirant toutes les déductions qu'elles comportent, l'emploi des alliages légers ou ultra-légers provoquera une révolution dans la construction métallique, qu'il s'agisse d'ouvrages travaillant statiquement ou d'organes en mouvement, car, pour tirer de cet emploi tous les avantages qu'il peut procurer, il ne suffira pas de remplacer simplement tel organe construit jusqu'à présent en métaux lourds usuels : il faudra envisager la totalité de la structure ou l'ensemble du mécanisme et le remplacement complet ou presque complet des métaux lourds par un métal léger. On sera ainsi amené infailliblement à des formes et à des dimensions nouvelles auxquelles notre esprit et notre œil ne sont pas préparés et qui sont de nature à changer complètement nos idées sur l'esthétique des ouvrages métalliques. (*Applaudissements.*)

M. Baclé, *président*. — Le brillant exposé que vient de nous faire M. de Fleury est d'une haute portée philosophique. Il couronne admirablement la série des conférences qui nous ont été faites au cours de cette

semaine. Il nous montre l'avenir qui est réservé à ces métaux légers dont, jusqu'à présent, on n'a guère envisagé l'emploi que dans les ouvrages travaillant statiquement. M. de Fleury nous a montré que, dans ce cas, on peut aller beaucoup plus loin qu'on ne l'a fait et il a généralisé ce mode d'application; de plus, il nous a démontré que rien ne s'oppose à ce que ces métaux soient employés pour les pièces travaillant dynamiquement; qu'ils y seront même, dans certains cas, plus avantageux que l'acier. Ce n'est qu'une question de bonne volonté et d'initiative, de la part de nos ingénieurs et de nos industriels, car il n'est pas douteux que le problème de la protection des alliages légers contre les intempéries sera entièrement résolu dans un avenir prochain, s'il ne l'est pas déjà comme nous l'a montré M. Guérin. Nos techniciens ne failliront pas certainement à la tâche qui reste à accomplir.

En nous exposant ses idées et en nous montrant quelles en ont été les premières et fort impressionnantes applications, M. de Fleury s'est révélé l'apôtre des alliages légers, « le prophète de l'aluminium en marche ». Il n'est pas douteux que ses prédictions se réaliseront; et les métaux légers caractériseront sans doute, comme je l'ai dit déjà, la civilisation prochaine et l'époque dans laquelle nous entrons, comme le fer, le bronze, la pierre polie ou éclatée, ont caractérisé les époques antérieures dans l'histoire de l'humanité.

Vos applaudissements ont prouvé à M. de Fleury que vous avez compris toute l'étendue de l'horizon nouveau qu'il nous fait ainsi découvrir. Permettez-moi de lui adresser tous nos remerciements tant au nom de notre Société qu'en celui des nombreux auditeurs de ces conférences et des visiteurs de cette exposition. Cette manifestation marquera, j'en suis sûr, une date dans l'histoire de l'industrie. Avant de clore cette réunion, la dernière de la série, je vous demanderai d'adresser aussi nos remerciements à tous nos brillants conférenciers et en particulier à M. Guérin, qui a été en même temps l'organisateur principal et dévoué de notre « Semaine de l'Aluminium ».

La séance est levée à 18 h. 30 m.

BIBLIOGRAPHIE
DES PRINCIPALES PUBLICATIONS SUR L'ALUMINIUM

PAR

M. Léon Guillet.

I. — Livres et opuscules généraux.

1856. H. Sainte-Claire Deville, *Propriétés, fabrication et application de l'aluminium.*

1894. Lejeal, *L'aluminium*, Baillière.

— Borchers, *Électrométallurgie*, Bérenger.

1899. Formente, *Aluminio.*

1900. Héroult, *L'aluminium à bon marché* (*Congrès des Mines et de la Métallurgie de Paris*).

1901. Minet, *Traité d'électrométallurgie*, Bérenger.

1903. Moissonnier, *L'aluminium : ses propriétés, ses applications*, Gauthier-Villars.

1909. Lodin, *La fabrication électrolytique de l'alumiuium* (*Annales des Mines*).

1911. Flusin, *Métallurgie de l'aluminium* (*Institut Électro-technique de Grenoble*).

1914. Dony-Hainaut, Gall, Guye, *Théorie et principes d'électrochimie,* Bérenger.

1918. Escard, *L'aluminum dans l'industrie*, Dunod.

1919. De Fleury et La Bruyère, *Les emplois de l'aluminium dans la construction des machines*, Dunod.

1920. *L'aluminium dans l'industrie électrique* (Rapports de la XV[e] Commission de l'Union des Syndicats de l'Électricité : *Les conducteurs d'électricité en aluminium*, par M. Dusaugey, p. 1-26; — *Applications de l'aluminium aux machines électriques et enroulements*, par M. P. Punet, p. 27-38; — *Sur l'emploi de l'aluminium pour l'établissement des canalisations isolées*, par M. Grosselin, p. 39-43; — *Applications de l'aluminium et de ses alliages à la construction du matériel roulant des tramways*, par M. Legrand, p. 44-52; — *Emploi de l'aluminium dans la construction des lignes aériennes*, par M. Duval, p. 53-62; — *L'aluminium dans l'appareillage électrique*, par M. Zetter, p. 63-78, 2 fig. et 97-102, II pl.; — *Emploi des câbles armés en aluminium pour l'alimentation des installations de traction électrique*, par M. Péridier, p. 79-90; — *Application de l'aluminium au gros appareillage*, par M. Drouin, p. 91-96, 1 fig.). (*Revue générale de l'Électricité*).

— Dusaugey. *L'aluminium et son application aux lignes électriques* (Conférence faite le 22 mai 1920 à l'École supérieure des Postes et Télégraphes). (*Annales des Postes, Télégraphes et Téléphones*). Paris, L'Aluminium français, 12, rue Roquépine (8[e]).

1921. Grard, *L'aluminium et ses alliages*, Berger-Levrault.

— Guérin, *Emplois de l'aluminium et de ses principaux alliages* (Conférence au Conservatoire national des Arts et Métiers). Librairie de l'Enseignement technique.

. — Minerais.

The Mineral Industry : publication annuelle.

The Mineral Resources of the United States : publication annuelle.

1907. Judd, *Les mines de bauxite de Georgie* (*Engin. and Min. Journ.*, 83, 574).

1913-1914. F. Law, *La bauxite dans le monde* (*Métaux et Alliages*, 1913, n° 12; 1914, nos 1 à 12).

1915. *Bauxite* (*Engineering*, 1915, 100, 625).

— *Bauxite dans le Central India et les Provinces Centrales* (*Rev. Geol. Surv. India*, 1915, 45, III).

— Nead, *Origine des gisements de bauxite de l'Arkansas* (*Econ. Geol.*, 10, 28).

1916. Wysor, *Les bauxites de l'Arkansas* (*Econ. Géol.*, 11, 42).

— Bernard, *Les mines de cryolithe à Ivigtut-Groenland* (*Mining. Mag.*, 14, 202).

1917. De Keppen, *L'industrie de la bauxite dans le département du Var*, Chaix.

— Shearer, *Les bauxites de Georgie* (*Geol. Surv. Georgia*, 340).

1918. *Bauxite en Guyane anglaise* (*Colonial Journal*, 11, 192).

1919. Catataynd, *Les Bauxites de Catalogne.*

— Hill, *Bauxites et aluminium* (*U. S. Geol. Surv. Bull.*, 666, 85).

1920. Puscarin et Motas, *Les gisements de bauxite des Monts du Bichor* (*Annales des Mines de Roumanie*, 1920, 3, 115).

III. — Métallurgie.

1898. E. Vigouroux, *Histoire de deux découvertes industrielles : le silicium et l'aluminium* (*Bulletin de l'Association amicale des Anciens Élèves de l'École de Chimie de Bordeaux*, t. I).

1903. *Métallurgie de l'aluminium. Four électrique Bradley* (*Eng. and Min. J.*, LXXVI, 663).

1904. *Nouvelle source d'aluminium* (*Electrochemical Ind.*, II, 487).

1905. Morehead, *Fabrication des ferro-aluminiums* (*Electrochemical Ind.*, III, 52, 1905).

— Blackmore, *Procédé de réduction de l'aluminium et d'autres métaux* (*Electrochemical and Metallurgical Industry*, III, 29).

- Russ, *Préparation de l'hydrate d'alumine* (*Bull. Soc. Chim.*, XXXIV, 1160)-

1906. White et Kirschbraun, *Les azotures de zinc, d'aluminium et de fer* (*Journ. Amer. Chem. Soc.*, XXVIII, 1343-1350).

1907. Fichter, *L'azoture d'aluminium* (*J. of Soc. of Chem. Ind.*, 871).

1908. *Traitement des silicates d'aluminium* (*J. of Soc. of Chem. Ind.*, XXVII, 409).

Pyne et Handcastle, *Points de fusion de quelques mélanges de cryolithe et d'alumine* (*Z. für. angew. Chemie*, XX, 1910-1911).

1912. Guillet, *Progrès des métallurgies autres que la sidérurgie*, Dunod, éditeur.

1914. Pascal, *Recherches physico-chimiques sur l'électro-métallurgie de l'aluminium* (*Rev. Métal.*, XI, 1914, 1069).

1920. Descroix, *L'industrie de l'aluminium en Allemagne pendant et après la guerre* (*Rev. de Mét.*, XVII, 275).

IV. — Essais et propriétés.

1859-1861. Karmasch, J. Dugler, *Densité de l'aluminium* (*Polyt.*, LI, p. 441, 1859, LV., p. 162, 1861).
1890. Hunt E. A. Langley J. W., and Hall C. M., *Propriétés de l'aluminium* (*Eng. and Min. Journ.*, 49, p. 284-285, 314-316, 334-336; *Trans. Amer. Inst. Mining Eng.*, 18, p. 258).
1892. Winkler C., *Sur l'attaquabilité de l'aluminium* (*Z. anorg. Chemie*, p. 69).
— Richards J. W., *La densité de l'aluminium* (*Journ. Franklin Inst.*, 133, p. 121-124).
1894. Moissan H., *Importés de l'aluminium industriel* (*C. R.*, 119, 12).
1895. Moissan H., *Analyse de l'aluminium et de ses alliages* (*C. R.*, 121, 851).
— E. Vigouroux, *Sur la réduction de la silice par l'aluminium* (*C. R.*, 120, p. 1161).
1897. Richards J. W. and Thomson J. A., *Détermination récente de la conductibilité de l'aluminium* (*Journ. Frank. Inst.*, 143, p. 195-199).
1898. Northrup, *Conductibilité de l'aluminium* (*Elect. World*, 32, p. 598; (Abst) *Éclair. Électrique*, 17, p. 576).
1899. Ditte, *Sur quelques propriétés de l'aluminium* (*C. R.*, 128, 195).
— Ditte, *Sur les propriétés et les applications de l'aluminium* (*C. R.*, 128, 793).
— Ditte, *Sur les applications de l'aluminium* (*C. R.*, 128, 971).
— Moissan, *Sur les applications de l'aluminium* (*C. R.*, 128, 895).
1901. E. Vigouroux, *Exposé sommaire des résultats obtenus dans l'action d'une haute température sur le mélange de fluosilicate d'aluminium et d'un oxyde métallique* (*Société des Sciences physiques et naturelles de Bordeaux*, 18 juillet).
— *Propriétés réductrices du magnésium et de l'aluminium* (*C. R.*, 132, n° 13, p. 826-828).
1903. Anderson and Lean, *Propriétés des alliages* Al-Sn (*Proc. Roy. Soc.*, 72, p. 277-284).
— Carrick W., and Lean G., *Propriétés des alliages* Al-Zn (*Proc. Roy. Soc.*, 72, p. 277-284).
— Tiden, *Poids atomiques et densités* (*Proc. Roy. Soc.*, 71, p. 220).
— Burgess C. F. and Hambuechen C., *Quelques recherches de laboratoire sur l'aluminium* (*Electrochem. Ind. Soc.* (*Philadelphia*), 1903, p. 165-168).
— E. Vigouroux, *Les silicoaluminures* (7 mai 1903, *Bull. Sci. phys. nat. Bordeaux*).
1904. E. Vigouroux, *Action de l'aluminium sur un mélange d'oxyde de fer et d'oxyde de vanadium* (16 juin 1904) (*Bull. Sc. phys. nat. Bordeaux*).
— E. Vigouroux, *Action de l'aluminium sur un mélange d'oxyde de fer et d'argent* (juillet) (*Bull. Sci. phys. et nat. Bordeaux*).
— Kohn-Abrest E., *La poudre d'aluminium et l'oxydation de l'aluminium* (*Bull. Soc. Chim.*, 31, p. 232-339).
— Mott W. R., *Protection de l'aluminium contre les corrosions* (*Electrochem. Ind.*, 2, 1904, p. 129-130).
— Smith W., *Action de certaines solutions sur l'aluminium et le zinc* (*Journ. Soc. Chem. Ind.*, 23, p. 475-477).
— Roy Mott, *Précipitation colloïdale sur les électrodes d'aluminium* (*Electrochemical Industry*, II, 444-447).

1904. ROY MOTT, *Propriétés électriques des pellicules formées sur les anodes d'aluminium* (*Electrochemical Industry*, II, 352-355).
— KOHN-ABREST, *Sur le poids atomique de l'aluminium* (*C. R.*).
— PÉCHEUX, *Thermoélasticité des alliages d'aluminium* (*C. R.*, 139, p. 1202-1204).
— KOHN-ABREST, *Sur l'oxydation de la poudre d'aluminium* (*Bull. Soc. Chim.*).
1905. KOHN-ABREST, *Sur les produits d'oxydation de la poudre d'aluminium chauffée dans l'air* (*C. R.*).
— KOHN-ABREST, *Sur le poids atomique de l'aluminium* (*Bull. Soc. Chim.*).
— E. VIGOUROUX, *Action du silicium sur l'aluminium* (*C. R.*, CXLI, 951-953).
1906. E. VIGOUROUX, *Sur le cuivre et sur l'argent, variante dans leur préparation* (*au moyen de l'aluminium*) (*Bull. Sciences physiques et naturelles de Bordeaux*, 8 fév.).
1907. VAN DEVANTER C. M., *La résistance de l'aluminium à l'acide nitrique* (*Chem. Weekblad*, 4, 1907, p. 69-72; *Chem. Zentralbl.*, I, p. 1017).
— SCHNURPFEIL, *Les propriétés de l'aluminium et des alliages* (*Giesserei Ztg.*, 4, p. 559-559).
— E. VIGOUROUX, *Sur la réduction des oxydes par l'aluminium* (*Réduction des oxydes de chrome II*) (*Bulletin Société Sciences physiques et naturelles de Bordeaux*, janv.).
— E. VIGOUROUX, *Essais sur la préparation du cuivre pur* (*au moyen de l'aluminium*) (*Bulletin Société des Sciences physiques et naturelles de Bordeaux*, 5 janv. 1907).
— E. VIGOUROUX, *Sur la réduction des oxydes par l'aluminium, à la préparation du chrome I* (*Bulletin Société Sciences physiques et naturelles de Bordeaux*, janv.).
1908. FILLINGER V. A., *Recuit de l'aluminium en contact avec le lait, le vin et quelques solutions salines* (*Z. Unters. Nahr.-u. Genussmittel*, 16, 1908, p. 232-234).
— LEES C. H., *Conductibilité thermique et électrique des métaux et alliages* (*Phil. Trans.*, p. 208-381).
— KOHN-ABREST, *Étude sur l'aluminium : analyse de la poudre d'aluminium* (*C. R.*).
1909. PÉCHEUX H., *Propriétés électriques des alliages* Al-Cu (*thermo-élasticité et résistance*) (*C. R.*, 148, p. 1041-1042).
— PÉCHEUX H. *Influence des impuretés sur les propriétés thermo-électriques et la résistance électrique de l'aluminium* (*C. R.*, 148, p. 627-628).
— BANCROFT W.-D., *Les propriétés mécaniques des alliages* Al-Zn (*Trans. Amer. Brass Founders' Associat.*, p. 47-54).
— WESTON F.-E. AND ELLIS H.-R., *Chaleur de combustion de l'aluminium, du calcium, du magnésium* (*J. Soc. Chem. Ind.*, 28, n° 2, p. 94).
— KOHN-ABREST, *Procédé d'analyse de la poudre d'aluminium* (*Bull. Soc. Chim.*).
— KOHN-ABREST, *Action du gaz chlorhydrique sur l'aluminium* (*Bull. Soc. Chim.*).
1910. KOHN-ABREST, *Action de la chaleur sur l'aluminium chauffé dans le vide* (*C. R.*).
— KOHN-ABREST, *Sur les oxydes et les azotures extraits de l'aluminium chauffé à l'air* (*C. R.*).
— KOHN-ABREST, *Action de la chaleur sur l'aluminium chauffé dans le vide. Influence du carbone et du silicium* (*Bull. Soc. Chim.*).
— KOHN-ABREST, *Action du bichlorure de mercure sur l'aluminium, etc.* (*Bull. Soc. Chim.*).
1911. KOHN-ABREST, *Recherches sur l'aluminium. Thèse pour le doctorat ès sciences physiques soutenue en Sorbonne, le* 14 janvier.

1911. Heyn E. and Bauer O., *Corrosion de l'aluminium* (*Mitt. Kgl. Materialprüfungsamtes*, 29, 1911, p. 2-28).
— Le Chatelier H., *Altération de l'aluminium* (*C. R.*, 152, p. 650-652).
— Brislee F.-J., *Densité et coefficient de dilatation linéaire de l'aluminium* (*Trans. Far. Soc.*, 7, p. 221).
— Baumann R., *Essais de l'aluminium à température ordinaire et à température élevée. Mitteilungen über Forschungsarbeiten auf dem Gebiete des Ingenieurwes.* 1911, n° 112, p. 23-40).
— Schirmeister, *Propriétés mécaniques et chimiques des alliages* Al-Co *et des alliages molybdène et tungstène* (*Metallurgie*, 8, p. 650-655).
1912. Barillé A., *Action de l'eau de mer sur l'aluminium* (*Journ. de Pharm. et Chimie*, t. VII, 1912, p. 110).
— Nicolardot P., *Action du mercure et des sels de mercure sur l'aluminium* (*Bull. Soc. Chim.*, II, p. 410-413).
— Kohn-Abrest, *Action de l'eau sur l'aluminium activé par le mercure* (*Bull. Soc. Chim.*, II, 1912, p. 570-576).
— Kohn-Abrest, *Influence de diverses impuretés sur l'activation de l'aluminium* (*C. R.*, 154, p. 1600-1602).
— Guichard M. et Jourdain R.-P., *Les gaz dans l'aluminium* (*C. R.*, 155, p. 160-163).
— *Densité et coefficient de dilatation de l'aluminium* (*Trans. Far. Soc.*, 7, p. 221-228).
— Bengough G.-D., *Études des propriétés des alliages à températures élevées* (*Journ. Institute of Metals*, 7, p. 123).
1913. Chamberlain J.-H., *Changement de volume dans les alliages* (*Journ. Inst. Metals*, X, p. 193).
— F.-J. Brislee, *La densité de l'aluminium* (*Trans. of the Faraday Society*, vol. IX, p. 162-173, juillet).
— F.-J. Brislee, *Module d'élasticité de l'aluminium* (*Trans. Far. Soc.*, 9, n° 1-2, p. 155-161).
— Scala R., *Action de l'eau distillée sur l'aluminium impur* (*Atti R. Acad. dei Lincei, Roma*, 22, p. 43-37, 95-102).
— Guillet, *Influence de l'écrouissage sur les propriétés des produits métallurgiques* (*attaquabilité de l'aluminium*) (*Rev. Mét.*, X, 769).
— Bailey, *Corrosion de l'aluminium* (*Journ. Inst. of Metals*, 1913, I, 9, p. 79).
1914. Laschtschenko P.-N., *Densité de l'aluminium* (*Journ. Russ. Phys. Chem. So.*, X, p. 212).
— Pascal, *Recherches physico-chimiques sur les métaux à l'état liquide* (*détermination de la densité à différentes températures*) (*Rev. Mét.*, XI, 469).
1915. Trillat, *L'attaque de l'aluminium par l'acide nitrique* (*Conférence à la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale*).
— Read A.-A. and Greaves R.-H., *Propriétés des alliages* Al-Ni *et* Al-Ni-Cu (*Journ. Inst. of Metals* XIII, I, p. 100-150).
1916. Seligman Williams, *Action de l'acide nitrique sur l'aluminium* (*Journ. Soc. Chem. Ind.*, 35, p. 665).
1917. Carpenter H.-C.-H. and Taverner L., *Effet de la chaleur à différentes températures sur le degré d'adoucissement de l'aluminium laminé* (18, p. 115-156, 156-171).
— Seligman R. Williams, *Action de l'acide acétique sur l'aluminium* (*Journ. Soc. Chem. Ind.*, avril 30, 1917).

1917. SELIGMAN R. WILLIAMS P., *Action des acides sur l'aluminium* (*Journ. Soc. Chem. Ind.*, 36, p. 409).
1918. R.-J. ANDERSON, *L'essai Erichsen sur les feuilles d'aluminium* (*Iron Age*, vol. CI, n° 15, April II, p. 950-951).
— ROBERT J. ANDERSON, *Les essais des feuilles d'aluminium* (*Iron Age*, vol. CII, n° 3, July 18, p. 148-149).
— ROBERT J. ANDERSON, *Métallographie de l'aluminium* (*Paper before the Faraday Society*, London, July).
— ROBERT ANDERSON, *Métallographie de l'aluminium* (*Met. and. Chem. Eng.* vol. XVIII, n° 4. Feb. 15, p. 172-178).
1919. D. HANSON, *Métallographie de l'aluminium et de ses alliages* (*Institute of Metals*, mars).
— R.-J. ANDERSON, *Métallographie de l'aluminium* (*Journ. of the Franklin Institute*, CLXXXVII, 1-48).

V. — Méthodes de travail.

1. — *Laminage, forgeage.*

1891. SMITH, *Le travail de l'aluminium à la presse* (*Trans. Amer. Inst., Min. Eng.*, 18, p. 476).
1895. PITTSBURGH REDUCTION C°, *Train de laminage pour l'aluminium* (*Iron Age*, 56, p. 1091).
1903. WOODWORTH, *Travail de l'aluminium* (*Amer. Mach.*, 26, p. 434-436).
1905. GUENTHER, *Papier d'aluminium* (*Iron Trade Review*, XXXVIII, 30).
1906. LAKE, *Fabrication de feuilles minces d'aluminium* (*J. of Soc. Chem. Ind.* XXV, 850).
— STOCKMEIER, *Explosions dans l'industrie de la couleur de bronze à l'aluminium* (*Zeitschrift für angewandte Chemie*, 5 oct.).
— HASKINS, *Granulation de l'aluminium* (*Metallurgie*, III, 612).
— GOUTSCHI AND JAQUIER, *Fabrication de tubes flexibles d'aluminium* (*Neueste Erfindungen u. Erfahrungen*, 33, p. 114-115).
1907. BREUIL P., *Fabrication à froid des tubes et profilés* (*Génie Civil*, p. 41, 369).
1912. L. GUILLET, *La fabrication du papier et de la poudre d'aluminium* (*Rev. de Mét.*, IX, 147, 1912).
1913. BAMBERGER M. AND V. JUPTNER H., *Explosion de l'aluminium en grains* (*Z. anorg. Chem.*, 26, p. 353-355).
— GEWECKE H., *Les effets des traitements à chaud sur la conductibilité de l'aluminium* (*The Electrician*, 72, p. 450-451).
1914. HANRIOT ET LAHURE, *Recuit de l'aluminium* (*C. R.*, 158, p. 263).
— ANONYME, *Tubes résistants en aluminium* (*Amer. Mach.*, 41, p. 44).
1915. BEEVERS L., *Recuit de l'aluminium estampé* (*Mech. World*, 58, p. 135).
— *Travail de l'aluminium à 400°* (*F. Horseless Age*, 36, p. 373).
1916. SELIGMANN R. ET WILLIAMS P., *Recuit de l'aluminium* (*Trans. Far. Soc.*, p. 64-65).
— F.-J. BRISLEE, *Changement des propriétés physiques de l'aluminium par le travail*

mécanique; chaleur spécifique de l'aluminium trempé et recuit (*Trans. Far. Soc.* May).

1917. F.-J. Brislee, *Les changements apportés dans les propriétés de l'aluminium par le travail* (*Trans. Far. Soc.*, vol. XII, June 1917, p. 57-63).

— Krom L.-J., *Fabrication de tubes sans soudure* (*Met. Ind.*, 15, p. 1).

— Lyon Jr.-G., *Pratique du laminage de l'aluminium* (*Met. Ind.*, 4, p. 109).

1918. Anderson R.-J., *Recuit et recristallisation des feuilles d'aluminium laminé* (*Met. and Chem. Eng.*, 18, p. 253).

— Anderson R.-J., *Recuit des feuilles d'aluminium exposées à des températures variées* (*Paper before the Inst. of Metals*, London, Sept. II).

— Anderson R.-J., *Le recuit de l'aluminium* (*Journ. of Inst. of Metals*, vol. XIX, n° I, p. 221-224).

2. — *Fonderie.*

1906. *Piqûres dans les moulages d'aluminium* (*Am. Chem. Soc.*, XXVIII, 262, 1906).

— *Les crasses d'aluminium* (*Am. Chem. Soc.*, XXVIII, 88).

— *Procédé Cowper-Coles pour la fusion de l'aluminium* (*Giesserei Ztg*, 3, p. 281-283).

— May, *Fusion de l'aluminium et de ses alliages* (*Mech. World*, 40, p. 165).

1907. *Moules en carborundum pour le moulage de l'aluminium* (*Engineering and Mining Journal*, LXXXIV, 639).

1913. W. Gillett, *Influence de la température de coulée sur les alliages d'aluminium* (*Rev. de Mét.*, X *bis*, 21).

1914. Norton A.-B., *Moulages d'aluminium* (*Amer. Inst. Metals*, 8, p. 104-109 (Abst.) *Jour. Soc. Chem. Ind.*, 33, p. 1013).

1915. Pack Chas, *Moulages d'aluminium* (*Met. Ind.* 13, p. 412; *Trans. Amer. Inst. Metals*, 9, p. 145).

1916. Hall I., *Fours de fonderie* (*Chem. Abst.*, 10, p. 2088).

1919. Zay Jeffries et W.-A. Gibson, *Effets des traitements thermiques sur les pièces fondues en alliages d'aluminium* (*Trans. of the Amer. Inst. of Mining and Metallurg. Engineers*, Sept.).

— A. Uhlmann, *Coulée du laiton et de l'aluminium par succion dans un moule* (*Helios*, XXV, 221).

1920. *Les méthodes anglaises de fonderie d'aluminium* (*The Metal Industry*, XVIII, 221-224).

3. — *Soudures.*

1903. Lange, Hjalmar, *La soudure de l'aluminium* (*Amer. Mach.*, 26, p. 1185-1186).

— Cowper-Coles, *Soudure de l'aluminium* (*Electrochem. and Metall.*, 3, p. 240-243).

1904. Cowper-Coles, *Soudure de l'aluminium* (*Electrician*, 34, p. 111; *Int. Marine Eng.*, 26, p. 171).

— Trezel et De Montby, *Soudure de l'aluminium* (*brevet anglais*, 4, 973, 29 fév.).

1907. Schoop M. V., *La soudure autogène de l'aluminium* (*Chem. Ztg.*, 31 p. 749-750).

1909. Seligman, Dr. Rich, *La soudure de l'aluminium* (*Journ. Inst. of Metals*, II, p. 281-287).

1909. SCHOOP M. V., *Soudure de l'aluminium* (*Electrochem. and Met. Ind.*, 7, p. 193-194).
1911. R. BAUMANN. *Variation des propriétés mécaniques de l'aluminium soudé et non soudé à diverses températures* (*Zeit. des Ver. Deuts. Ing.*, LV, 2016).
— *Une nouvelle soudure de l'aluminium* (*Turbine*, Aug., 5, p. 388).
1912. CARNEVALI F., *Soudure autogène des principaux alliages d'aluminium* (*Inst. of Met.*, 9 (Abst.); *Journ. Soc. Chem. Ind.* 31, p. 990).
1915. *Nouvelle soudure d'aluminium* (*Autocar*, 35, p. 156).
— *Soudure d'aluminium* (*Elect. Rev. and West. Elect.*, 67 p. 670-671).
— PANNELL E. V., *Soudure d'aluminium* (*Journ. Amer. Inst. Met.*, 9, p. 670-671).
— MAWSON R., *Soudure oxyacétylènique de pièces d'aluminium* (*Amer. Mach.*, 41, p. 1065).
— *Soudure d'aluminium* (*Machinery*, 21, p. 369-371).
— *Soudure d'aluminium* (*Machinery*, 5, p. 488 (British Abst.); *Jour. Inst. of Met.*, 13, p. 332).
— *Soudure et brasage d'aluminium* (*Machinery* (British) 5, p. 397-399, n° 117).
1916. *Soudure de feuilles d'aluminium* (*Met. and Chem. Eng.*, 14, p. 548).
1920. *Les soudures d'aluminium* (*Circular of the Bureau of Standards*, n° 78).

4. — *Dépôts.*

1904. GRONCHER, *Dépôts métalliques sur l'aluminium, alliages d'aluminium et autres métaux* (*The Electro-Chemist and Metallurgist*, IV, 153, 1904).
— BURGESS AND HANBUCHEN, *Dépôts métalliques sur aluminium* (*Electrochem. and metall.*, III, 866-867, 1904).
1905. LONGUININE, *Dépôt électrolytique des métaux sur l'aluminium* (*Electrochemical and Metallurgical Industry*, III, 177).
— LODYGUINE, *Dépôt électrolytique du cuivre sur l'aluminium* (*The Engineer*, 640, 1905).
1907. *Nickelage de l'aluminium* (*Metallurgie*, IV, 570).
1912. REGELSBERGER F., *Galvanisation de l'aluminium* (*Elektrochem. Zeitschrift*, p. 213-220).
1914. E. TASSILLY, *L'aluminium-nickel* (*Rev. de Mét.*, XI, 670, 1914).
— HALLISON H.-B.-C. AND HAKWINS L.-A., *Sur la calorisation* (*Metal and Chem. Eng.*, 12 p. 730).
— CANAC J. ET TASSILLY E. *Nickelage de l'aluminium* (*C. R.*, 158).
1915. *Nickelage de l'aluminium* (*Sc. Amer. Suppl.*, Sept., 25, p. 197).
1920. L. GUILLET ET M. GASNIER, *Nickelage de l'aluminium* (*Rev. de Mét.*, XVII, 351, 1920).
1921. L. GUILLET, *Sur la calorisation* (*Rev. Mét.*, mai).

5. — *Divers.*

1906. HOSKINS, *Appareil pour la fabrication de l'aluminium en grains* (*Metallurgie*, III, p. 612).
1913. DEINKARDT K. *Le travail de l'aluminium et des métaux blancs* (*Machinery*, 19, p. 970).

1914. Anonyme, *Nouvelle méthode de coloration de l'aluminium* (*Foundry*, 43, p. 361).
— Lang, *Coloration de l'aluminium* (*The Foundry*, 43, p. 361).
1915. *Méthodes d'assemblage de l'aluminium* (*Machinery*, 21, p. 470-473).
— *Travail rapide de l'aluminium* (*Journ. Franklin Inst.*, 180, p. 634).
— *Méthodes d'assemblage de l'aluminium* (*Machinery*, 5, p. 708; *Journ. Inst. Met.*, 13, p. 332).

6. — *Emplois.*

1894. Hart, *Applications de l'aluminium aux constructions navales* (*Mém. Soc. Ing. Civ. de France*, 47, p. 601).
1897. Hunt. *Emploi de l'aluminium dans les arts* (*Journ. Franklin Inst.*, 144, p. 81-113).
— Norton T.-H., *Emploi de condenseurs d'aluminium* (*Amer. Chem. Soc.*, 19, p. 153-156).
1898. Hunt, *L'aluminium rival du cuivre dans les conducteurs électriques* (*Eng.*, 86, 1898, p. 81; *Iron and Coal Trades Rev.*, 56, p. 339-350).
1899. Mach L. and Schumann L., *Sur un nouveau métal à miroir* (*Sitzungsb. Wien. Akad.*, 108, p. 135).
1900. Guillaume, *Emploi de l'aluminium comme conducteurs électriques* (*Éclairage électrique*, 22, p. 321 328).
— Matignon C., *Métallurgie basée sur l'emploi de l'aluminium comme réducteur et production des températures élevées* (*Moniteur scientifique*, juin, p. 333-366).
1901. Korshaw J.-B.-C., *L'aluminium employé comme conducteur électrique* (*Eng.*, 1901; *Electrician*, 46, n° 13, p. 464-466).
— Blake, *Emploi de l'aluminium dans la construction des appareils de précision* (*Trans. Amer. Inst. Min. Eng.*, 18, p. 503).
1902. Pastrovich P., *Emploi de l'aluminium dans l'industrie de la stéarinerie* (*Chem. Rev. Fett.-u. Harz-Industrie*, 9, n° 12, p. 278-279).
1903. *Procédé aluminothermique* (*Revue technique*, XXIV, 714-717).
— *Usages de l'aluminium* (*Mineral Industry*, XI, 27-32, 1903).
— Kershaw, *Emploi de l'aluminium comme conducteur électrique* (*Elect. Rev.* (New-York), 43, p. 470-471).
— Simon, *Emploi de l'aluminium pour tressage en remplacement du bois* (*Revue industrielle*, 35 p. 185-186).
— Krull F., *Emploi de l'aluminium pour la transmission du courant électrique* (*Z. anorg. Chem.*, 17, p. 1058-1060).
— Goldschmidt, *Aluminothermie* (*The Iron and Steel Metallurgist and Metallographist*, VII, 79-81, 1904).
1904. Goldschmidt, *Production des métaux purs exempts de carbone par l'aluminothermie* (*Electrochemical Ind.*, II, 145-147, 1904).
— *Emploi de l'aluminium en lithographie* (*Engineering*, LXXVII, 686, 1904).
— Parke, *Conducteurs en aluminium* (*Journal of the Franklin Institute*, CLVIII, 469, 1904).
1905. Watts O.-P., *Emploi de l'aluminium comme agent de réduction* (*Amer. Electrochem. Soc. Trans.*, 1905 (Abst.); *J. Soc. Chem. Ind.*, 24, 1905, p. 116).
— Goldschmidt, *Aluminothermie* (*Electrochemical Ind.*, II, 404-405, 1905).

1905. *Réparation des navires par la thermite* (*Iron Trade Rev.*, XXXVIII, 12, 1905).
— WATTS, *Emploi de l'aluminium comme agent de réduction* (*Electrochem. and Metal. Ind.*, III, 372, 1905).
— STUTZ, *La thermite dans la pratique américaine* (*Iron and Steel Magazine*, X, 212-224, 1905).
— TALBOT B., *Emploi de l'aluminium pour réduire la ségrégation dans les lingots d'acier* (*Eng. News*, 54, p. 443).
— BICHEL C.-E., *L'aluminium dans les explosifs* (*Z. an. Chem.*, 18, p. 1889-1892).
— SCHOENFEL F., *Emploi de l'aluminium pour les filtres à bière* (*Wochenschr. f. Brauerei* 22, p. 79-80).
1906. *La thermite* (*Engineer*, CII, 527, 1906).
1907. FOURNIER, *Industrie des feuilles d'aluminium* (*Nature*, Paris, 35-11, p. 147-150).
— LAKE, *Moulages d'aluminium* (*Foundry* (Cleveland), 30, p. 160-165).
— *Un nouvel usage de l'aluminium* (*Rev. de Mét.*, IV, 979, 1907).
— *Emploi de l'aluminium pour les conducteurs électriques* (*Times Eng. Supp.*, III, 3, 1907).
— RICHARDS *L'aluminium et ses usages en 1906* (*The Engineering and Mining Journal*, LXXXIII, p. 1083-1086, 1907).
— FAYOLLES, *Note sur l'emploi de l'aluminium dans les distributions d'énergie électrique* (*Bull. Soc. ind. de l'Est*, XXIV, 42, 1907).
1908. OBHOLZER, *Sur l'emploi de la thermite pour éviter la formation de la soufflure centrale dans les lingots d'acier* (*Rev. de Mét.*, V, 47, 1908).
1909. ECHEVARRI J.-T.-W., *L'aluminium et quelques-uns de ses emplois* (*Journ. Inst. of Metals* (London), I, p. 125-143; *Discussion*, p. 144-163).
— DUONO V. DEL, *Emploi de l'aluminium comme conducteur électrique* (*Atti. Assoc. Elettrot. Ital.*, 13, p. 261-289).
1910. LANE H.-M., *Emploi du magnésium comme désoxydant des alliages d'aluminium* (*Amer. Brass Founders Assoc.*, p. 103-116).
— HOBART H.-M., *Câbles d'aluminium* (*Elec. Times*, 37, p. 356).
1911. *Emploi du magnésium comme désoxydant en fonderie d'aluminium* (*Castings*, February, p. 164).
— *L'aluminium employé comme métal pour moulages* (*Amer. Machinist*, p. 959).
— CHAPMAN A.-C., *Recherches sur l'aluminium particulièrement en ce qui concerne les installations de brasserie* (*Journ. Inst. Brew.*, 17, p. 660-678).
1912. THURMAN J.-B., *Moulages d'aluminium* (*Mech. Eng.*, 29, p. 116-117).
— SELIGMAN, RICH, *Usages modernes de l'aluminium* (*Sc. Amer. Suppl.*, 73, n° 1904, p. 405-407).
1913. MATIGNON C., *Réduction de la magnésie par l'aluminium* (*C.R.*, 156, p. 1157-1159).
— KOHN-ABREST, *Application de l'aluminium activé à la précipitation du tanin* (*Bull. Assoc. Chim.*).
— ANONYMOUS, *Emploi de l'aluminium pour câbles électriques* (*Eng.*, 95, p. 812).
— PANNELL E.-V. *Valeur de l'aluminium comme câbles électriques* (*Elect. News* (Canadian), Nov. 15, 1913, p. 46-47).
1914. *British Aluminium C° Ltd*, *Progrès de l'aluminium* (*Bull.*, 144).
— *Aluminium dans l'industrie automobile* (*Métaux et Alliages* 7, p. 7; *J. Inst. Metals*, 12, p. 295).

1914. *British Aluminium C°, Notice sur l'aluminium, réseaux de distribution et feeders* (*Iron and Coal Trades Review*, 89, p. 203).
1915. Trillat, *Emploi de l'aluminium dans les industries alimentaires* (*Conférence à la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale*).
— Sherbondy E.-H., *Emploi de l'aluminium dans la construction des moteurs automobiles* (*Automobile*, 33, p. 834-835).
— Clayden A.-L., *Aluminium dans les châssis d'autos* (*Automobile*, 33, n° 8, p. 330).
— *Aluminium dans l'industrie du gaz* (*J. Ind. Eng. Chem.*, 7, p. 255-256).
— Pannell E.-V., *Récents développements de l'aluminium* (*Metal Industry* (n. s.), 13, p. 453-455).
— Richards J.-W., *Les emplois techniques de l'aluminium* (*Trans. Internat. Eng. Cong.*, 1915, p. 17).
— Ruder, *Métaux calorisés* (*Trans. Amer. Elec. Chem. Soc.*, 27, p. 253).
1916. Reinhold O.-F., *Développements modernes de l'industrie de l'aluminium* (*Metal Record and Electroplater*, II, n° 5, p. 121-134).
1917. Richards J.-W., *Aluminium* (*Met. and Chem. Eng.*).

7. — *Alliages légers.*

1895. Richards J.-W., *Résistance à la corrosion de quelques alliages légers d'aluminium* (*Journ. Franklin Institute*, 139, p. 69-72).
1900. Miethe, *Propriétés et production du magnalium* (*Verein z. Förd. Gewerbefleisses*, 1900, p. 93-98).
1901. O. Boudouard, *Alliages d'aluminium et de magnésium* (*Bull. Soc. d'Encouragement pour l'Indust. nat.*, 101, p. 773-80).
1902. E. Vigouroux, *Contribution à l'étude des alliages d'aluminium et de silicium* (en collaboration avec Arrivaut) (*Bull. Sciences phys. et nat.*, *Bordeaux*).
1903. Richards J.-W., *Alliages légers d'aluminium* (*Eng. and Min. Jour.*, 76, p. 508).
1904. Richards, *Les alliages légers d'aluminium* (*Journal of the Franklin Institute*, CLVII, 394).
1905. Barnett, *Magnalium et autres alliages légers* (*Journ. Soc. Chem. Ind.*, 24, p. 832-834).
— Shepherd, *Alliages zinc-aluminium* (*Physical Chemis.*, IX, 504-512).
1906. Longuinine et A. Schukareff, *Étude thermique des alliages d'aluminium et de magnésium* (*Rev. de Mét.*, III, 48, 1906).
1907. Stacy-Jones J.-E., *Alliages légers d'aluminium* (*Industrial World*, May, II, p. 593-596).
1908. Von Kugelgen et Servard, *Préparation des alliages d'aluminium et de magnésium* (*The Metal Industry*, 117).
1909. Portevin, Si-Al (*Rev. de Mét.*, 1909, p. 951-962).
1910. Cohn L.-M., *Duralumin* (*Ver. z. Förd d. Gewerbefleisses*, 89, p. 643).
— Law E.-F., *La rupture des alliages légers, particulièrement de ceux d'aluminium* (*Trans. Far. Soc.*, 6, p. 185).
1911. *Le duralumin* (*Lumière électrique*, XXVI, 53).
— Wilm A., *Recherches physicométallurgiques sur les alliages d'aluminium et de magnésium* (*Metallurgie*, VII, 225).
— Wilm A., *Trempe des alliages légers d'aluminium* (*Metallurgie*, VIII, p. 656).

1911. WILM A., *Propriétés physiques des alliages* Al-Mg (*Rev. Ex.*, 8, p. 831; *Metallurgie*, 8, p. 225).

— SCHIRMEISTER, *Alliages légers* Al-Co (*Metall.*, 8, p. 650).

— BRONIEWSKI W., *Propriétés électriques des alliages* Al-Mg (*C. R.*, 152, p. 85-87).

1912. COHN L.-M., *Duralumin* (*Elektrotechnik u. Maschinenbau*, 30, p. 809-829).

— LEVI-MALVANO ET MARENTONIO, *Alliages légers* Al-Zn-Cu (*Gaz. Chim. Italiana*, 42, I, p. 355-360).

1913. COHN L.-M., *Changement des propriétés physiques de l'aluminium et spécialement du duralumin* (*Elektrotechnik u. Maschinenbau*, 31, mai, 18, p. 430-433).

1914. *Revue sur les alliages légers d'aluminium* (*Métaux et Alliages*, n[os] 4, 7).

1915. GRUENEWALD, *Alliages pour pistons* (*S. A. E.*, 10, II, p. 135).

1916. O. RUFF ET F. JELLINEK, *Aluminium et carbone* (*Zeit. anorg. Chem.*, t. XCVII, 312-336).

1916-1917. G. OSTERHELD, *Alliages du glucinium avec l'aluminium, le cuivre, l'argent et le fer* (*Z. anorg. Chem.*, t. XCVII, 6, 1916; *J. Soc. Chem. Ind.*, XXXI, 340, 1917).

1917. STILLMAN A.-L., *Briquetage des tournures d'alliages légers* (*Jour. Amer. Inst. Met.*, II, p. 207).

— CHIKASHIGE ET T. ACHI, *Recherches métallographiques sur le système aluminium-sélénium* (*Mem. Coll. Science Kyôto*, t. II, p. 249).

— CHIKASHIGE ET J. NOSE, *Recherches sur le système aluminium-tellure* (*Mem. Coll. Science Kyôto*, t. II, p. 227, 1917).

1918. PAUL D. MERICA, *L'aluminium et ses alliages légers* (*Chem. and Met. Eng.* Aug. I, 1918, vol. XIX, n° 3, p. 135-140; Aug. 15, 1918, vol. XIX, n° 4, p. 200-202; *and others to appear*).

1919. *L'aluminium et ses alliages légers* (*Circular of the Bureau of Standards*, n° 76).

1920. LÉON GUILLET, JEAN DURAND ET JEAN CALIBOURG, *Contribution à l'étude de la trempe de certains alliages d'aluminium* (*Rev. de Mét.*, XVII, 202).

— GRARD, *Alliages légers à haute résistance* (*Rev. Mét.*, XVII, 286).

— LÉON GUILLET ET ALBERT PORTEVIN, *L'influence du fer sur les propriétés mécaniques de l'aluminium brut de coulée* (*Rev. de Mét.*, XVII, 753).

— MERICA, WAELTENBERG ET FINN, *Caractéristiques mécaniques et résistance à la corrosion des alliages légers laminés d'aluminium et de magnésium au cuivre, au nickel, au manganèse* (*Technolog. Papers of the Bureau of Standards*, 132, 1919).

8. — *Alliages lourds.*

1903. LONGUININE W. AND SCHUKAREFF A., *Étude thermique des alliages* Al-Cu (*Arch. Sc. phys. et nat. Geneva*, 15 (4), p. 49-77 (Abst.); *Chem. Zentralbla*, 1, n° 9, p. 498 (Abst.); *Jour. Soc. Chem. Ind.*, 22, p. 338).

— LONGUININE ET SCHUKAREFF, *Étude thermique de quelques alliages de cuivre et d'aluminium* (*Journ. de Chimie physique*, 1-9-34, 1903).

1905. L. GUILLET, *Aciers à l'aluminium* (*Rev. Mét.*, 312, 11, 1905).

— L. GUILLET, *Alliages* Al-Cu (*C. R.*, 141, p. 464-467).

— L. GUILLET, *Alliages* Al-Cu (*Bull. Soc. d'Encourag. pour l'Ind. nat.*, 107; *Revue de Métallurgie*, p. 367-388).

1905. L. Guillet, *Étude thermique et industrielle des alliages de cuivre et d'aluminium* (*Rev. Mét.*, 11, 567).

— P. Breuil, *Constituant spécial obtenu dans la trempe d'un bronze d'aluminium* (*C. R.*, 140, 587, 590).

1906. Guillet, *Les laitons à aluminium* (*Rev. Métall.*, 1906, p. 243).

1907. Curry B.-E., *Constitution des bronzes d'aluminium* (*J. Phys. Chem.*, 11, p. 425).

— Carpenter H.-C.-H. and Edwards C.-A., *Alliages* Al-Cu (*Eng.*, 63, p. 253-254 (Abst.); *Jour. Soc. Chem. Ind.*, 26, p. 206).

— Carpenter H. C.-H and Edwards C.-A., *Alliages* Al-Cu (*Eight Report to the Alloys Research Committee of Inst. Mech. Eng.*, 83, p. 127-129).

— Curry B.-E. and Woods S.-H., *Charges de rupture des alliages* Cu-Al (*Jour. Phys. Chem.*, 11, p. 461-491).

— Curry B.-E., *Constitution des alliages* Al-Cu (*Jour. Phys. Chem.*, 11, p. 425).

1908. *Le bronze d'aluminium* (*Rev. Mét.*, V, 411, 1908).

— L. Guillet, *Recherches récentes sur les alliages de cuivre-aluminium* (*Rev. Mét.*, V, 413, 1908).

— Carpenter et Edwards, *Propriétés des alliages d'aluminium et de cuivre* (*Rev. Mét.*, V, 425).

1909. Edwards C.-A. and Andrew J.-H., *Constitution et propriétés des alliages* Al-Cu-Sn (*Inst. of Metals*, p. 29-47 (Abst.); *J. Soc. Chem. Ind.*, 28, n° 21, p. 1138).

— Barree M., *Transformation dans les alliages* Al-Cu (*C. R.*, 149, p. 678-681 et *Rev. de Métall.*, VII, 16, 1910).

— Ross et Gray, *Propriétés magnétiques des alliages* Mn-Al-Cu (*Anorg. Chemis*, 63, p. 349).

1910. Sperry E.-S., *Bronze d'aluminium* (*Mech. Eng.*, 25, n° 630, p. 206; *Jour. Inst. Met.*, 3, n° 1, p. 278). (Abst.)

— Carpenter R.-C.-H. and Edwards C.-A., *Moulages de bronze d'aluminium* (*Inst. Mech. Eng.* (London), 110, p. 701-703).

— Rosenhain et Lantsberry, *Propriétés de quelques alliages de cuivre, aluminium et manganèse* (*Inst. Mech. Engin.*, p. 119 et *Rev. de Mét.*, VII, 543).

1911. Levi Malvano et Marantino, *Laitons à l'aluminium* (*Gaz. Chim. Ital.*, 41, p. 282-297).

1912. Heusler F. and Take E., *Nature des alliages magnétiques* (*Trans. Far. Soc.* Apr., 23 (Abst.); *Jour. Soc. Chem. Ind.*, 31, n° 10, p. 494).

— Knowlton A.-A. and Cliford O.-C., *Les alliages magnétiques d'Heusler* (*Trans. Far. Soc.* Apr., 23 (Abst.); *Jour. Soc. Chem. Ind.*, 31, n° 10, p. 495).

— Ross A.-D., *Propriétés magnétiques et microstructure des alliages magnétiques d'Heusler* (*Trans. Far. Soc.* (Abst.); *Jour. Soc. Chem. Ind.*, 31, n° 10, p. 495).

— Carpenter H.-C.-H. and Edwards C.-A., *Liquidus et constitution des alliages* Al-Cu-Zn (*Internat. Zeitschr Metallog aphie*, 2, p. 209-242).

1913. Hanemann H. et Merica P., *Alliages de* Al-Cu *à 84-90 p. 100* Cu (*Int. Zeits. Metallographie*, 4, p. 209-227).

— Portevin A., *Le constituant des bronzes d'aluminium* (*Int. Zeits. Metallographie*, 4, p. 257-260).

— Read A.-A., *Influence du phosphore sur les alliages* Cu-Al (*Inst. of Metals.*, Aug. (Abst.); *Jou. Soc. Chem. Ind.*, 32, n° 18, p. 914.)

1913. H.-C.-H. Carpenter et C.-A. Edwards, *Les courbes du liquidus et le diagramme du système ternaire* Al-Cu-Zn (*alliages riches en cuivre*). (*Rev. de Mét.*, X, 428).
— A.-A. Read et R.-H. Greaves, *Influence du nickel sur certains alliages cuivre aluminium* (*Institute of Metals*, mars 1913).
— Robin E., *Bronzes spéciaux d'aluminium et d'étain. The needle constituents of alloys* (*Bull. Soc. d'Encouragement*, 119 p. 12-41; *Jour. Soc. Chem. Ind.* (Abst.), 32, n° 7, p. 367).
1914. Guillet Léon, *Alliages* Cu-Ni-Al (*C. R.*, 153, p. 704-706).
1915. Rolla L., *Étude thermochimique des alliages* Al-Cu (*Gazzetta Chimica Italiana*, 55, 1, p. 185).
— Andrew J.-H., *Quelques expériences sur les alliages* Al-Cu (*Jour. Inst. Metals*, 13, p. 249-261).
— Corse W.-M., *Propriétés des bronzes d'aluminium* (*Foundry*, 43, p. 459-460).
— J. Andrew, *Alliages cuivre-aluminium* (*Institute of Metals*, mars 1915).
1916. Anonyme, *Bronzes d'aluminium* (*Metal Industry* (London), 9 July, 28, n° 4, p. 102-103).
— Edwards, Prof. C.-A. (Manchester Univ.), *Alliages* Cu-Al (*Metal Industry* (London), 9, n° 2, p. 47-49).
— W.-M. Corse et G.-F. Comstock, *Quelques essais récents sur le bronze d'aluminium et leur signification* (*Am. Soc. Testing Materials*, juin 1916).
— A. Portevin et G. Arnou, *Le traitement thermique du bronze d'aluminium à 10 p. 100 d'aluminium* (*Revue de Métal.*, XIII, 101).
1917. W.-M. Corse, *Certaines propriétés des bronzes d'aluminium* (*The Foundry*, 459, nov.).
1918. A. Rix et Whitaker, *Les moulages fins de bronze d'aluminium en moule métallique* (*Institute of Metals*, avril 1918).

9. — *Autres alliages, généralités.*

1900. Heycock C.-T. and Neville F.-H., *Alliages d'aluminium* (*Proc. Roy. Soc.* 66, p. 2021).
1901. Guillet L., *Alliages* Al-Mo (*C. R.*, 133, n° 5, p. 291-293).
— Guillet L., *Alliages* Al-Mo (*C. R.*, 132, n° 22, p. 322-325).
— Lippmann, *Densité des alliages* Al-Sb (*C. R.*, 132, n° 21, p. 1266-1267).
— Guillet L., *Alliages* Al-W (*C. R.*, 18, p. 1112-1115).
— Richards J.-M., *Alliages* Al-Zn (*Eng. and. Min. Jour.*, 72, n° 22, p. 715).
1902. *Alliages* Ni-Cu (*partinium and nickel-aluminium*) (*Metallarbeiter*, 28, n° 2, p. 656-657).
— Guillet L., *Alliages* Al-Fe *et* Al-Mn (*C. R.*, 134, n° 4, p. 236-238).
— Guillet L., *Alliages* Al-Mn (*C. R.*, 134, p. 236).
— Campbell and Matthews, *Alliages* Al-Sn (*Jour. Am. Chem. Soc.*, 24, p. 258).
— Guillet L., *Alliages* Al-Sn (*C. R.*, 133, p. 935-937).
— Longuinine W. and Schukareff A., *Recherches thermiques sur les alliages* Al-Zn (*Arch. Sc. phys. et nat.*, *Genève*, 13, n° 4, p. 5-29).
— G. Arrivaut, *Contribution à l'étude des alliages de manganèse* (*par aluminothermie*). (*Thèse de doctorat*, 1902, Bordeaux, chez Gounouilhou).

1902. L. Guillet, *Alliages d'aluminium* (*Bull. Soc. d'Encourag. pour l'Ind. nat.*, 101, n° 2, p. 221-275).
— Campbell W. and Matthews J.-A., *Alliages d'aluminium* (*Jour. Amer. Chem. Soc.*, 24, n° 3, p. 253-266).
— Vilson E., *Les propriétés physiques de certains alliages d'aluminium* (*Jour. Inst. Elect. Eng.*, 31, p. 321).
1903. Vilson, *Conductibilité électrique de certains alliages d'aluminium* (*Electrician* (London), n° 1322, p. 898).
1904. Campbell, *La structure des alliages d'aluminium* (*Jour. Amer. Chem. Soc.*, 26, p. 1290-1306).
— Pécheux H., *Alliages* Al-Bi (*C. R.*, 138, p. 1501-1503).
— Pécheux H., *Alliages* Al-Mg-Sb (*C. R.*, 138, p. 1606-1607).
— Pécheux H., *Alliages* Al-Pb (*C. R.*, 139, p. 1042-1044; *Métallurgie*, 1, p. 513).
— Shepherd E.-S., *Alliages* Al-Sn (*Jour. Chem.*, 8, p. 233-247).
— Pécheux H., *Alliages* Al-Sn (*C. R.*, 138, p. 1170-1171).
— Pécheux A., *Alliages* Al-Zn (*C. R.*, 138, p. 1003-1004).
— May, *La Fonderie d'aluminium et les alliages* Al-Zn (*Engl. Mechanic. and World of Science*, 79, p. 420-422).
— *Alliages d'aluminium* (*Berg-und Hüttenman. Zeit.*, LXIII, 241, 1904).
— Shepherd, *Alliages d'aluminium et d'étain* (*Physical Chemistry*, XIII, 333, 247. 1904).
— Pécheux, *Sur les propriétés des alliages étain-aluminium* (*C. R.*, CXXXVIII. 1170-1172, 1904).
— Onda, *Préparation d'alliages d'aluminium* (*Electrical World and Eng.*, XLIII, 1125, 1904).
— Campbell, *Changement de structure dans les alliages d'aluminium* (*J. of Franklin Inst.*, CLVIII, 161-184, 1904).
— Vilson, *Conductibilité électrique des alliages d'aluminium* (*Engineering*, LXXVIII. 333, 1904).
— Pécheux, *Sur la thermo-élasticité des alliages d'aluminium* (*C. R.*, CXXXIX, 1202-1204, 1904.
1905. Pécheux, *Alliages* Al *avec* Sn, Bi, Mg (*C. R.*, 140, p. 1535-1536).
— Manchot Kieser, *Siliciures doubles d'aluminium et de chrome* (*Am. Journ. of Sciences*, XIX, 243, 1905).
— Arndt, *Alliages d'aluminium et de calcium* (*J. of the Soc. of Chem. Ind.*, XXIV, 676, 1905.
— E. Vigouroux, *Étude sur les alliages de fer et d'aluminium* (*Bull. Sciences physiques et naturelles de Bordeaux*, juillet 1915).
— E. Vigouroux, *Formation de siliciures par voie aluminothermique* (*Bulletin Sciences physiques et naturelles de Bordeaux*, juillet 1905).
— E. Vigouroux, *Sur la réduction des oxydes et sur un nouveau mode de préparation par l'aluminum du composé binaire* $Si\text{-}Mn^2$ (*C. R.*, t. CX, 41, p. 722).
— Tammann, *Alliages* Sb-Al (*Z. anorg. Chem.*, 48, p. 53-60).
— Vigouroux E., *Action du silicium sur l'aluminium pur et impur* (*C. R.*, 141, p. 951-955).
— Shepherd E.-S., *Alliages* Al-Zn (*Journ. phys. Chem.*, 9, p. 504-512 (Abst.); *Chem.*, *Zentralb.*, II, p. 537-538).

1906. Gwyer, *Alliages* Al-Bi (*Z. anorg. Chem.*, 49; *Anorg. Chem.*, 49, p. 311-319).
— Pécheux H., *Points de fusion des al iages* Al-Pb, Al-Bi (*C. R.*, 143, p. 397-398).
— Gwyer, *Alliages* Al-Bi (*Z. anorg. Chem.*, 49, p. 316).
— Gwyer, *Alliages* Al-Zn (*Anorg. Chem.*, 49, p. 311).
— Hœnigschmidt O., *Alliages* Al-Th (*C. R.*, 142, p. 280-281).
— Mathewson, *Alliages* Al-K *et* Al-Na (*Anorg. Chem.*, 48, 192).
— *Aluminium-argent* (*Am. Chem. Soc.*, XXVIII, 262, 1906).
1907. Mc Adams, *Méthodes de fonderie de l'aluminium et de ses alliages* (*Amer. Mach.*, 30, 11, p. 347).
1908. A. Portevin, *Les travaux sur les alliages au laboratoire du Professeur Tammann. Les alliages d'aluminium* (*Rev. Mét.*, V. 275, 1908).
— Gwyer A.-G.-C., *Alliages* Al *avec* Cu, Fe, Ni, Co, Pb, Cd (*Z. anorg. Chemie*, 57, p. 113-153 (Abst.); *Chem. Zentralblatt*, 1, p. 1033-1035).
— Donski L., *Alliages* Ca-Al (*Z. anorg. Chem.*, 57, p. 185-219 (Abst.); *Chem. Zentralblatt*, 1, p. 1035-1038).
— Gwyer A.-G.-C., *Alliages d'*Al *avec* Cu, Fe, Ni, Co, Pb, Sn (*Z. anorg. Chem.*, 57, p. 113).
— Rowland W.-S., *Corrosion électrolytique des alliages* Al-Cu (*Jour. Phys. Chem.*, 12, p. 180-206).
— Gwyer, *Alliages* Fe-Al, Cu-Al, Ni-Al, Co-Al.
— Gwyer A.-G.-C., *Alliages* Al-Pb (*Z. anorg. Chem.*, 57, p. 147).
— Frankel W., *Alliages* Al-Si (*Z. anorg. Chem.*, 58, p. 154-158 (Abst.); *Chem. Zentral.*, 11, p. 143).
— Saposhnikow A., *Dureté des alliages* Al-Zn (*Journ. Russ. Phys. Chem. Soc.*, 40, p. 95-100).
1909. Turner T. and Murray M., *Changement de volume des alliages* Cu-Zn (*Journ. Inst. Met.*, 2, p. 98).
— Bancroft W.-D., *Les propriétés mécaniques des alliages* Al-Zn (*Trans. Americ. Brass. Founders Associat.*, 47).
1910. Breckenridge, *Alliages* Al-Ca (*Met. and Chem. Eng.*, 8, p. 340-341).
— Breckenridge J.-M., *Alliages* Al-Cu (*Met. and Chem. Eng.*, 8, p. 349).
1911. *Alliages d'aluminium* (*Foundry*, 38, n° 5).
— Bancroft, *La résistance à la traction des alliages aluminium-zinc* (*Rev. de Mét.*, VIII, 735, 1911).
— Frilley R., *Recherches sur quelques alliages métalliques siliciés* (*Rev. Mét.*, 8, p. 457).
— Rosenhain W., *La constitution des alliages* Al-Zn (*Proc. Roy. Soc.* (London), 85 (séries A), n° 850, p. 389-392).
— Rosenhain et Archbutt, *Alliages* Al-Zn (*Metallurgie*, 8, p. 225-227).
— Portevin, *Sur les alliages aluminium-zinc* (*Rev. Mét.*, VIII, 721, 1911).
1912. Walter Rosenhain and S.-L. Archbutt, *Dixième rapport du Comité des alliages* (*The Inst. of Mech. Eng.*, avril 1912).
— M. Chouriguine, *Sur les alliages du platine avec l'aluminium* (*Rev. Mét.*, IX, 874. 1912).
— Anonymous, *Alliages* Al-Ag (*Metal Ind.*, 4, p. 368).
— Vogel R., *Alliages* Al-Ce (*Zeitschr. f. anorg. Chemie*, 75, p. 41 et suiv.).

1912. BROMIEWSKI W., *Propriétés électriques des alliages d'aluminium* (*Ann. d. Chim. et d. Physique*, 25, p. 5).
— CHOURIGUINE M., *Alliages* Al-Pt (*C. R.*, 155, p. 156).
— SMIRNOFF W., *Dilatation des alliages* Al-Zn (*C. R.*, 155, p. 351-352).
— ROSENHAIN W. AND ARCHBUTT L.-S., *Alliages* Al-Zn-Cu (*Inst. Mech. Eng.* (Abst.); *Journ. Soc. Chem. Ind.*, 31, n° 10, p. 493).
— BRONIEWSKI W., *Propriétés électriques des alliages d'aluminium* (*Ann. de Chimie et de Physique*, VIII, 25, p. 5).
1913. IVINSON C.-H., *Alliages d'aluminium* (*Metal Industry* (New-York), 11 (n. s.), p. 340-341).
— VON JOHN W.-E., *Contribution à l'étude de la constitution et à l'analyse des alliages d'aluminium* (*Chem. Ztg.*, 37, p. 363).
— WALTER ROSENHAIN, *Les alliages d'aluminium et de zinc* (*Rev. de Mét.*, X, 982, 1913, renvoie à : *Rev. Mét.* X., 822, 1913).
— G. LE GRIX ET BRONIEWSKI, *Sur la dureté des alliages aluminium-argent* (*Rev. Mét.*, X, 1055, 1913).
— LORENZ-PLUMBRIDGE, *Alliages* Al-Sn (*Z. anorg. Chem.*, 133, p. 243).
— CZAKO N., *Alliages* Al-Va (*C. R.*, 156, p. 140-142).
— LORENZ R. AND PLUMBRIDGE D., *Le système binaire* Al-Zn (*Z. anorg. Chem.*, 83, p. 243-245).
— EGER E., *Constitution des alliages* Mg-Al-Zn (*Int. Zeits. Metallographie*, 4, p. 29-128).
— PETRENKO G.-I., *Dureté des alliages* Ag-Zn *et* Ag-Al (*J. Russ. phys. Chem. Soc.*, 46, p. 176 (abst.); *Bull. Soc. Chem.*, 16, p. 738-739).
— HEYCOCK C.-T. AND NEVILLE F.-H., *Alliages* Al-Au (*Phil. Trans. Roy. Soc.* 214 (A), p. 267 et suiv.).
1914. ROBERTS C.-E., *Alliages* Al-Si (*Chem. Soc.* (London), *Trans.*, 105, p. 1383-1386).
1915. BAUER O. ET VOGEL O., *Alliages* Al-Zn (*Mittlg. aus dem Kgl. Materialprüfungsamt*, n°s 3 et 4 (Abst.); *Metall u. Erz*, 13, p. 158-161).
— BAUER O. ET VOGEL O., *Alliages* Al-Zn (*Int. Z. Met.*, 8, p. 101, *Jour. Inst. Met.* (Abst.), 17, 1917, p. 328).
— H. SCHUMEISTER, *Étude des alliages binaires d'aluminium* (*Stahl und Eisen*, t. XXXV, p. 648-873 et 996, 1916).
— O. VOGEL ET O. BAUER, *Sur les alliages d'aluminum et de zinc* (*Intern. Zeitschr. f. Metallographie*, VIII, 101, 1916).
1917. JONES J.-L., *Alliages d'aluminium* (*Met. Ins.*, p. 522).
— PETRENKO G.-I., *Alliages* Al-Ag (*Anorg. Chemie*, 46, p. 49-59).
1921. JOHN G.-A. PHODIN, *Aluminium et ses alliages* (*Engineering*).
— BANCROFT, *Alliages* Al-Zn (*Mech. Eng.*, 25, p. 206).
— NEUBURGER A., *Alliages* Al-Co (*Elektrotech. Zeitschr.*, 26, p. 295).

ADDENDA A L'ANNEXE I [1]

par M. Léon Guillet.

ADDENDUM I

d_3) Diagrammes avec maxima et points de transition. — *Aluminium-Fer.* Un nouveau diagramme (fig. 10*bis*) vient d'être publié dans un supplément du Traité de Métallographie de Guertler; il est dû partiellement à Gwyer et précise certains points. Le liquidus présente un maximum, un point de transition et un eutectique.

Sur ce diagramme :

I. — Al, α;
II. — Al β;
III. — Fe δ;
IV. — Fe γ;
V. — Fe β;
VI. — Fe α;
VII. — Fe Al^3;
VIII. — Fe Al^2.

On note les points suivants :

1° Sur tous les diagrammes récemment publiés en Allemagne, on indique un point de transformation de l'aluminium à 560°; nous n'avons pas pu savoir comment cette transformation a été établie.

2° Les points de transformation de la solution Fe-Al, riche en fer, présentent deux points eutectoïdes, l'un pour la solution γ, l'autre pour la solution β. Nous étudions actuellement les propriétés de ces solutions obtenues par trempe.

ADDENDUM II

d_3) Diagrammes avec maxima et points de transition. — *Aluminium-Cérium.* — Les alliages aluminium-cérium, dont le diagramme est donné dans la figure 10 *ter*, donnent un exemple très remarquable de combinaisons nombreuses indiquées par des points de transition et des maxima.

De plus, on remarque que le liquidus se trouve en très grande partie au-dessus de la droite qui lie le point de fusion du cérium (830°) à celui de l'aluminium (660°).

Le liquidus présente, en partant du point de fusion du cérium, un eutectique à 590°, un maximum peu différent, un deuxième eutectique à 542°.

Le liquidus remonte par une courbe assez imprécise en points ronds; il présente un point de transition à 780°; puis un maximum extrêmement accusé; la courbe

1. Voir p. 737 du présent numéro.

redescend en donnant deux points de transition (1250° et 1005°) et un eutectique à 638°, voisin de l'aluminium.

Le premier maximum correspond à Ce^3Al; le second à CeAl; les points de transition engendrent Ce^2Al, CeAl et $CeAl^4$.

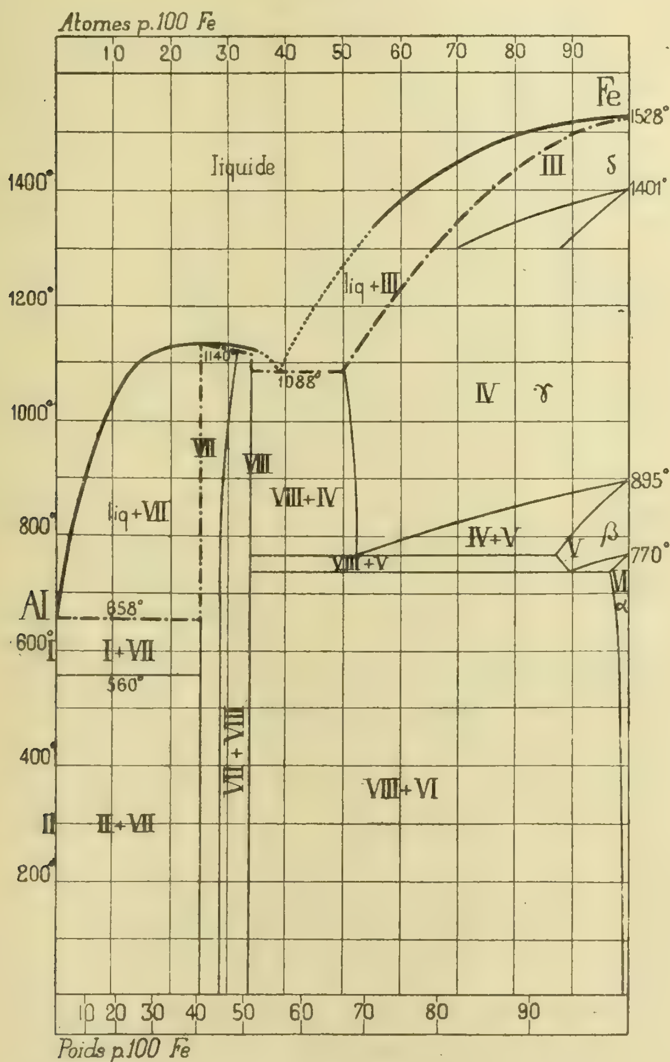


Fig. 10 *bis*. — Nouveau diagramme des alliages Aluminium-Fer.

Le solidus montre qu'il y a seulement une légère solution solide de la combinaison Ce Al à haute température.

Enfin, il faut remarquer que les verticales des deux points de transition à droite du maximum se confondent.

On lit donc :

I. — Cérium ;
II. — Al α ;
III. — Al β ;
IV. — Ce^3 Al ;
V. — Ce^2 Al ;
VI. — Ce Al ;

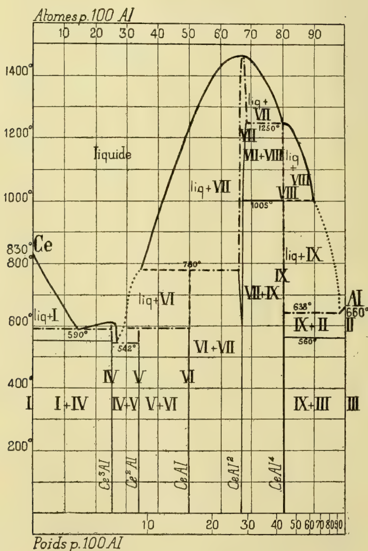


Fig. 10 *ter*. — Diagramme des alliages Aluminium-Cérium.

VII. — Ce Al^3 ;
VIII. — Ce Al^4 α
IX. — Ce Al^4 β

Ce diagramme a été donné par Vogel.

ADDENDUM III

II°. — Diagramme d'alliages d'aluminium et d'un métal partiellement miscible dans l'aluminium a l'état liquide. — *Aluminium-Manganèse.* — Les

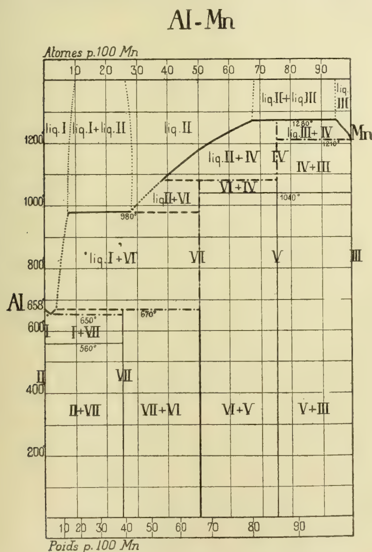


Fig. 12 *bis*. — Diagramme des alliages Aluminium-Manganèse.

alliages de ces deux métaux présentent deux zones de non-miscibilité : l'une entre 12 et 40 p. 100 de manganèse, à 980° ; l'autre, entre 80 et 98 p. 100 de manganèse, à 1280° (température supérieure au point de fusion du manganèse, 1210°).

En outre, le liquidus présente : un eutectique dans le voisinage de l'aluminium pur et fondant à 650° ; un premier point de transformation très voisin de l'eutectique (horizontale à 670°) ; un second point de transformation à 1080°. Enfin un eutectique correspond au manganèse pur.

Sur le diagramme (fig. 12 *bis*), on trouve les deux formes allotropiques de l'aluminium ; de même, la combinaison Mn^3 Al présenterait un point de transformation à 1040°. Cette transformation est due à un changement brusque dans les propriétés magnétiques.

Sur le diagramme, il faut lire :

I. — Al α;
II. — Al β;
III. — Mn;
IV. — Mn^3 Al α;
V. — Mn^3 Al β;
VI. — Mn Al;
VII. — Al^3 Mn.

L'agent général, gérant,
E. LEMAIRE.

TABLE DES MATIÈRES

Coulommiers. — Imp. Paul BRODARD.

BULLETIN

DE

LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT

POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

RÉCOMPENSES DÉCERNÉES PAR LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT

Grand prix du marquis d'Argenteuil (1916).

Rapport présenté par M. J. Carpentier, au nom du Comité des Arts économiques, sur les titres du Général Ferrié au Grand Prix du Marquis d'Argenteuil, pour l'année 1916.

Le rapport qui suit aurait dû paraître dans le *Bulletin* de juin 1921. M. Carpentier l'avait présenté le 9 avril 1921 en comité secret du Conseil, qui l'avait approuvé tel quel. Mais, M. Carpentier avait manifesté le désir d'en compléter quelques passages, relatifs à certains travaux du général Ferrié qu'il lui paraissait indispensable de mettre en relief. Le 30 juin 1921, à la suite d'un accident d'automobile, la mort a surpris M. Carpentier avant qu'il ait pu faire ces additions. M. Jean Carpentier, son fils, a retrouvé le texte du rapport qui avait été présenté au Conseil et l'a remis à la Société d'Encouragement. Elle croit devoir le publier tel quel aujourd'hui en s'excusant auprès du Général Ferrié de n'avoir pu le faire plus tôt et sous la forme définitive que M. Carpentier désirait lui donner.

Le Grand prix du Marquis d'Argenteuil, dont l'attribution, selon les vues de son fondateur, doit revenir tous les six ans, n'a pas été décerné depuis 1910 en raison de la longue et terrible guerre que nous avons subie.

En 1910, ce prix a été attribué à M. Branly, dont les beaux travaux ont donné naissance à la télégraphie sans fil et servi de base à son essor.

Le Comité des Arts économiques, à qui revenait cette année le soin de vous présenter les titres du candidat à cette haute récompense, vous propose de l'accorder au Général Ferrié, Inspecteur général de la Télégraphie militaire en France. Il estime que les travaux du général Ferrié ont été exceptionnellement utiles au perfectionnement de l'industrie française, dans un domaine des plus importants, et qu'il a permis à la France d'y atteindre, au moment où se faisait sentir un intérêt vital, une supériorité incontestable. Le domaine ou s'est exercée l'activité du général Ferrié est encore celui de la télégraphie sans fil. Mais saurait-on regretter que cette branche de la science, que nous avons vue poindre chez nous, ait pris chez nous-mêmes un développement digne d'attirer une seconde fois, et à court intervalle, vos suffrages.

L'œuvre du général Ferrié a eu comme un épanouissement pendant la guerre; elle eut pour résultat de donner à la France, au moment critique, une grande avance sur ses ennemis et de fournir un très utile concours à nos alliés qui ne cessèrent de fréquenter les laboratoires de notre Télégraphie militaire et d'y recueillir, pour les utiliser, de précieuses communications sur nos procédés et sur notre outillage.

Sans entrer, dans ce rapport sommaire, en de grands détails sur la personnalité et sur la carrière du général Ferrié, il nous faut signaler ici les principaux mérites de cet officier, qui a rendu à la France tant de services et dont la valeur a toujours été rehaussée par une grande modestie.

Ferrié Gustave est enfant de la Savoie; il est né en 1868. Il est passé par l'École Polytechnique et il en est sorti, en 1889, dans le génie. Dès 1893, il s'est spécialisé dans la télégraphie; à l'apparition de la télégraphie sans fil, il s'est initié à sa théorie et à ses procédés; et, depuis 1898, il n'a cessé de se consacrer à son étude et à ses applications.

La carrière du général Ferrié est caractérisée par une unité exceptionnelle : en possession d'une compétence hors pair, il a eu une bonne fortune (je devrais dire, nous avons eu une bonne fortune) assez rare : il n'a pas été détourné de sa voie; on ne l'a pas tout d'un coup affecté à quelque emploi très éloigné de sa formation et dans lequel il se fût trouvé désarmé et improductif. Aussi a-t-il pu pousser fort loin son acquis et son rendement.

Pendant les premières années de la fonction qui lui fut confiée par le Ministre de la Guerre français, il s'est livré à des études variées et approfondies sur la télégraphie sans fil et s'est distingué par des travaux personnels originaux.

Placé à la tête d'un service monopolisé et disposant de moyens incomparables, Ferrié a été en relation avec, on peut dire, tous les spécialistes de la télégraphie sans fil et il a réalisé des installations extrêmement importantes. Il a connu les problèmes les plus complexes et a dû leur trouver de satisfaisantes solutions. C'est ainsi que nous l'avons vu successivement établir la première communication radiotélégraphique effective sur territoire français entre La Martinique et La Guadeloupe, créer et organiser le poste considérable de la Tour Eiffel; puis combiner des modèles variées de postes portatifs pour l'Armée et pour la Marine, puis équiper les ballons dirigeables.

Entre temps, il écrivit, en collaboration avec son chef, le colonel Boulanger, le premier ouvrage français sur la télégraphie sans fil. Cet ouvrage très estimé a eu neuf éditions et contribua puissamment à répandre les connaissances relatives à cette branche de la science. D'autre part, Ferrié a rédigé nombre de notes et de mémoires sur les questions de son ressort.

Ainsi mis en lumière, il put jouir, pendant la guerre, d'un grand prestige, non seulement en France, mais vis-à-vis de l'étranger. Doué d'un fécond esprit d'organisation, il sut diriger fort habilement le nombreux personnel de collaborateurs placés sous ses ordres et, notamment, le groupement qu'il avait formé avec les physiciens distingués, les ingénieurs habiles et les officiers spécialistes entraînés qui furent affectés à son établissement.

Ce groupement constitua un centre d'études et de recherches techniques et scientifiques pour les procédés et les appareils destinés aux communications militaires. Ferrié fut l'inspirateur et le guide des travaux accomplis dans ce centre. Les réalisations dues aux physiciens et aux ingénieurs réunis autour de lui furent trop nombreux pour être énumérés dans ce rapport; mais elles contribuèrent puissamment, il faut le répéter, à nous créer une suprématie incontestable sur l'ennemi. Dans le rapport définitif qui accompagnera le prix, une mention explicative plus développée sera faite de quelques-uns des résultats obtenus.

Appelé au Bureau des Longitudes en 1911, comme correspondant, Ferrié, qui était alors colonel, fut de suite associé à des œuvres de paix. C'est ainsi qu'il prêta son concours à l'organisation de la distribution de l'heure au loin au moyen de son installation de la Tour Eiffel, puis à la détermination des différences de longitudes. L'entrée en ligne de la télégraphie sans fil, pour cette détermination scientifique, a presque révolutionné les méthodes anciennes et les a simplifiées pour le moins, dans une inconcevable proportion. Elle fait entrevoir aujourd'hui des ressources nouvelles capables de mettre en évidence les déformations de l'écorce terrestre.

La rapide énumération qui précède permet de se faire une idée du bagage considérable que le Général Ferrié compte à son actif. La Société d'Encouragement fera certainement une œuvre de justice en lui attribuant une de ses plus hautes récompenses.

Le Rapporteur,
J. CARPENTIER.

Lu et approuvé, en comité secret du Conseil, le 9 avril 1921.

COMITÉ DES ARTS CHIMIQUES

Rapport présenté, par M. A. Livache, au nom du Comité des Arts chimiques, sur la *Répartition des revenus des fondations de secours attribuées à ce Comité.*

De 1905 à 1914, le Comité des Arts chimiques avait distribué, chaque année, les revenus des fondations dont il disposait. Pendant la guerre, cette distribution fut forcément arrêtée, mais il est heureux de reprendre aujourd'hui les habitudes antérieures.

Le Comité commença par annoncer dans les comptes rendus provisoires, les conditions que devaient remplir les candidats et il fut ensuite secondé par une circulaire du Syndicat des Produits chimiques. Malgré cela les demandes ne furent pas très nombreuses pour certaines fondations (tannerie, stéarinerie, savonnerie); pour la fondation de Baccarat (industrie de la cristallerie), il n'y eut aucun postulant; pour les fondations visant les industries chimiques, par contre, il y eut un plus grand nombre de candidats, et comme ces fondations ont un revenu très faible, nous vous demanderons de leur attribuer une partie des revenus non distribués pendant la période de guerre.

Après examen des dossiers reçus, nous vous proposons les attributions suivantes :

1° *Fondation Fauler* (Industrie des Cuirs), a pour but de « secourir des ouvriers ou contremaîtres malheureux ayant rendu des services appréciés dans l'industrie du Cuir ». Revenu annuel : 952,15 f.

2 secours de 300 f à des ouvriers de la Maroquinerie Petitpont à Choisy-le-Roi.

2° *Fondation Legrand* (Industrie de la Savonnerie), destinée à « venir en aide aux ouvriers ou contremaîtres malheureux de l'Industrie de la Savonnerie ayant rendu des services appréciés ». Revenu annuel : 1.859,25 f.

3 secours de 300 f à des ouvriers présentés par la Société de Stéarinerie et Savonnerie de Lyon, par MM. Mallet et fils à Bordeaux, et par la Savonnerie Michaud à Aubervilliers.

3° *Fondation de Milly* (Industrie de la Stéarinerie et des Corps gras), a pour but de « venir en aide à des ouvriers et contremaîtres malheureux ou ayant contracté quelque infirmité dans leur profession ». Revenu annuel : 1.044,95 f.

3 secours de 300 f à des ouvriers présentés par la Compagnie générale de l'Afrique française à Bordeaux, par MM. Mallet et fils, Stéarinerie à Bordeaux, par MM. Tremeau et Cie à Vienne (Isère).

4° *Fondation Ménier* (Industrie des Arts chimiques), a pour but de « venir en aide à des ouvriers et contremaîtres appartenant à l'Industrie des Arts chimiques ». Revenu annuel : 307,50 f.

En prenant sur les revenus non distribués pendant la guerre, nous avons pu donner :

9 secours de 100 f à des ouvriers présentés par la Fabrique de Couleurs et Vernis Lefranc et Cie, par les Usines A. de Bournat, par M. Gilbert et Cie, par la Saponite à Charenton, par la Compagnie bordelaise de Produits chimiques, par la Manufacture des Glaces et Produits chimiques de Saint-Gobain, Chauny et Ciroy.

5° *Fondation des exposants de la Classe 51* (Matériel des Arts chimiques, de la pharmacie et de la tannerie). Revenu annuel : 159,10 f.

En prenant encore sur les revenus non distribués pendant la guerre, nous avons pu donner :

3 secours de 200 f à des ouvriers présentés par la Maison Chenal et Douilhet, par la Maison Adrian, Gallois et Cie Srs, par la Fabrique de Produits pharmaceutiques de Coulommiers (Seine-et-Marne).

Tous ces secours, représentant une somme de 3.900 f ont été attribués à des ouvriers ou contremaîtres qui ont rendu des services à leur industrie, et qui sont malheureux ou atteints par l'âge, la maladie ou les blessures; tous remplissent les conditions fixées par les fondateurs ainsi qu'en font foi les certificats envoyés par les industriels chez qui ils sont employés.

Ces propositions du Comité des Arts chimiques ont été ratifiées par la Commission des Fonds.

Le Rapporteur,
A. LIVACHE.

Lu et approuvé en séance publique le 11 juin 1921.

COMITÉ DES CONSTRUCTIONS ET BEAUX-ARTS

Rapport présenté par M. Auguste Moreau au nom du Comité des Constructions et Beaux-Arts sur un ouvrage intitulé : *Calcul du Ciment armé sans formules algébriques*, par J. de Tédesco, Ingénieur des Arts et Manufactures.

L'ouvrage de M. de Tédesco est un traité complet du calcul du ciment armé dans lequel il a perfectionné les méthodes exposées dans ses précédents traités, tout en remplaçant les formules algébriques par des règles énoncées en langage courant et dont il donne toujours la justification par un simple raisonnement.

Cette méthode toute nouvelle présente l'immense avantage d'être à la portée de tous et de pouvoir être comprise par les chefs de chantier et les dessinateurs techniques désireux de s'instruire mais qui sont découragés par les expressions algébriques.

Dès qu'une page est lue, une application numérique en met en pleine lumière les passages qui auraient pu rester obscurs, et le lecteur est particulièrement heureux de pouvoir déterminer à l'aide d'une simple opération arithmétique, le plus souvent multiplication ou division, les dimensions cherchées de la pièce considérée.

Et il ne faut pas croire qu'il a été fait habilement un choix des problèmes les plus faciles à résoudre et s'adaptant le mieux aux exigences de cette méthode simplifiée; tous ceux que les calculateurs de ciment armé ont à envisager ont été traités, et ce livre leur sera utile comme aux autres en leur évitant des erreurs de signes ou d'unités dans l'application de formules dont ils ont le plus souvent oublié l'origine en admettant qu'ils l'aient jamais connue.

Pour donner une idée des problèmes complexes traités, il y a lieu de remarquer que dans la première partie, l'on y enseigne la recherche des moments de flexion dans les divers cas de charges et dans toutes les sections de la poutre; comme aussi la détermination des moments

d'inertie ou les $\frac{I}{V}$ des sections usuelles; et *tout cela sans recourir à aucune formule*, ce qui est absolument remarquable. De là, à faire comprendre le calcul différentiel et intégral, il n'y a qu'un pas facile à franchir et cela suffit, car pour les résultats, les calculateurs les trouvent tout prêts dans les aide-mémoire.

Avant d'entreprendre l'étude du ciment armé à la flexion, M. de Tédesco commence par traiter la résistance des matériaux homogènes. Mais il ne se borne pas à indiquer comment l'on peut calculer soi-même une pièce; il donne de nombreux barèmes tout faits; les dimensions et les ossatures sont donc connues à l'avance à l'aide d'une simple lecture. Et il y a lieu de bien remarquer en outre que dans tous ces calculs, il suit strictement les prescriptions des Instructions ministérielles, en particulier de la circulaire d'octobre 1906.

La seconde partie de l'ouvrage comprend un recueil de projets complets avec métrés à l'appui pour ne laisser subsister aucun doute sur les armatures à prévoir; ces projets sont tous accompagnés de dessins d'exécution.

Enfin le livre se termine par des tables et renseignements divers indispensables aux calculateurs, y compris le maniement de la réglette logarithmique.

L'exclusion de l'algèbre produit tout d'abord une mauvaise impression sur les techniciens tentés de croire qu'il s'agit simplement d'un ouvrage de vulgarisation de caractère plutôt élémentaire et enfantin. Mais dès les premières pages et après un examen rapide, on constate que si les formules algébriques ont été supprimées, elles ont été remplacées par des considérations philosophiques de même nature élevée que la solution d'un problème d'algèbre par l'arithmétique. C'est en réalité, on peut dire, de l'essence de hautes mathématiques que le lecteur s'assimile sans fatigue au profit du développement de son cerveau; il prend goût aux sciences exactes et sera souvent tenté de compléter son bagage technique par l'étude des mathématiques spéciales. A notre époque où les connaissances techniques jouent un rôle si important dans l'ensemble de la prospérité publique, il serait à désirer qu'elles fussent ainsi rendues assimilables au plus grand nombre. C'est ce que M. de Tédesco vient de faire brillamment en ce qui concerne le ciment armé.

Votre Comité de Constructions et Beaux-Arts vous propose donc de féliciter et de remercier M. de Tédesco pour son beau travail, de le classer parmi ceux qui peuvent faire l'objet d'une récompense décernée par notre Société et d'insérer le présent rapport au *Bulletin*.

Le Rapporteur,
A. MOREAU.

Lu et approuvé en séance publique le 11 juin 1921.

COMITÉ D'AGRICULTURE

Rapport présenté au nom du Comité d'agriculture par M. L. MANGIN, sur un ouvrage de M. ANDRÉ BOURDIN, intitulé : *Étude-enquête sur la Chéimatobie, ses mœurs et sa destruction.*

Dans cette brochure M. André Bourdin, 2, rue de la Porte-Jaune, à Fontenay-sous-Bois (Seine), décrit d'abord la *Chéimatobie* ou *Phalène hiémale*, la ravageuse de nos cultures fruitières. Par l'exposé succinct et précis de ses mœurs, dont la connaissance a inspiré plusieurs modes de défense, il nous fait comprendre l'étendue des dégâts causés par ce minuscule et peu séduisant papillon. Nous aurions désiré voir dans cette première partie quelques dessins du ravageur à ses divers états.

Le problème de la destruction est ensuite très largement traité grâce aux sources nombreuses et autorisées auxquelles l'auteur a puisé.

Les procédés physiques inspirés par les particularités des papillons femelles incapables de voler et obligés de grimper aux arbres pour être fécondées, sont assez nombreux : l'*engluement* qui a encore la faveur unique de beaucoup de cultivateurs malgré ses défauts : main-d'œuvre assez considérable; disparition de la viscosité des enduits, etc.; les *caisses à engluement* ou à bordure de zinc entourant le pied des arbres; les *toiles métalliques* disposées en abat-jour autour de l'arbre, qui ont donné de bons résultats aux États-Unis contre des papillons dont le genre de vie rappelle celui de la Chéimatobie.

D'autre part, en s'inspirant du fait que la larve de l'insecte, à la veille de se transformer en chrysalide, se laisse tomber sur le sol pour s'y enfoncer et subir sa deuxième métamorphose, certains entomologistes, entre autres M. Decaux, recommandent de déposer sous les arbres une couche de 1 cm de tourbe et de cendres mélangées; les chenilles qui tombent sur ce mélange meurent rapidement.

D'autres, comme M. Lesne, recommandent de retourner le sol en août-septembre et de le tasser fortement pour empêcher la sortie des papillons.

M. Bourdin mentionne sans y insister, avec raison, le secouage des arbres, procédé brutal ou insuffisant; la récolte des feuilles roulées, inapplicable dans les exploitations de quelque importance.

L'auteur signale ensuite les procédés chimiques : bouillies et insecticides variés parmi lesquels les produits arsenicaux se sont montrés les plus actifs et dont l'emploi ne devrait pas être entravé par une législation trop timorée.

Quelques lignes sont consacrées enfin à l'emploi des moyens naturels trop souvent inefficaces par la négligence et l'ignorance des cultivateurs; c'est l'emploi des crapauds d'une part et, d'autre part, la protection des oiseaux.

Telle est la brochure de M. A. Bourdin, claire et précise, formulant en quelques pages le programme de défense contre la Chéimatobie. Elle fait grand honneur à son auteur et mérite d'être récompensée et largement distribuée dans les grands centres de production fruitière.

En conséquence, votre Comité d'Agriculture vous demande de remercier M. Bourdin de son intéressante communication, d'insérer le présent rapport dans notre *Bulletin* et de retenir son ouvrage parmi ceux qu'en principe notre Société est disposée à récompenser.

Le Rapporteur,
L. MANGIN.

Lu et approuvé en séance publique le 11 juin 1921.

DEGRÉS DENSIMÉTRIQUES, DÉFINITION ET ÉTUDE DES MÉTHODES DE MESURE.

La loi du 2 avril 1919 a institué de nouvelles unités légales de mesures répondant aux exigences du commerce et de l'industrie. Le décret du 26 juillet suivant (*Journal officiel* du 5 août 1919) (1), portant règlement d'Administration publique, donne les définitions des unités principales *M. T. S.* (2) et secondaires, *C. G. S.*

Ces définitions furent établies après avis : de la Commission de Métrologie usuelle, du Comité consultatif des Arts et Manufactures, du Bureau des Poids et Mesures, de l'Académie des Sciences, de la Société française de Physique et de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale (3).

Il serait important que toutes ces définitions fussent mieux connues et observées dans nos milieux scientifiques et industriels en vue d'appliquer l'unification de nos mesures avant d'entreprendre l'étude de la standardisation universelle que l'on préconise aujourd'hui.

Le décret précité autorise, à titre temporaire, l'emploi de certaines unités actuellement en usage. Dans ce but notamment, un tableau II annexé à ce décret, donne la correspondance des degrés Baumé aux densités. En examinant ce tableau et en consultant les ouvrages donnant les densités des corps, nous nous apercevons combien est obscure, chez certains auteurs, la définition des densités, et surtout la valeur des modules qui permettent de passer des degrés arbitraires des aréomètres aux densités. C'est sur ces points que nous avons été amenés à faire une étude assez détaillée des degrés densimétriques et des instruments de mesures.

Au sujet des degrés Baumé, nous signalerons que le décret prescrit de ne plus les employer dans les transactions commerciales; les densités doivent être seules admises désormais. Souhaitons que le provisoire admis par le décret ne se prolonge pas trop longtemps au moins pour les densités, car nous montrerons, au cours de cet exposé, *les inconvénients* de l'emploi des aréomètres à divisions arbitraires.

(1) Voir le *Bulletin de la Société d'Encouragement* de novembre-décembre 1919, qui a reproduit les deux textes, p. 367 à 380.
(2) Masse, tonne, seconde.
(3) Voir le *Bulletin* de novembre-décembre 1919, p. 351 à 367.

I. — Définition de la densité et du litre.

(Décret du 26 juillet 1919.)

1° Unité commerciale et industrielle. — *Densité.* — « La densité des « corps s'exprime en nombre décimaux : celle du corps qui a la masse de une « tonne, sous le volume de un mètre cube, étant prise pour unité. »

En observation, on indique que :

« L'eau privée d'air, à 4°, sous la pression d'une colonne de mercure de « 76 cm de hauteur, a une densité égale à 1 (moins $\frac{1}{30.000}$ environ) (1). »

2° Unité de haute précision. — *Le litre.* — « Le litre défini par les métro- « logistes est le volume d'une masse de 1 kg d'eau à 4°, sous la pression de « 76 cm de mercure; il excède de $\frac{1}{30.000}$ le décimètre cube. »

II. — Interprétation des définitions.

Dans les définitions qui précèdent, on remarquera que l'on fait intervenir la masse et non le poids des corps et la différence entre le décimètre cube et le litre. Il importe donc de connaître ces différentes grandeurs pour comprendre la définition des densités et des unités densimétriques.

a) De la masse et du poids. — *La masse d'un corps* correspond à la quantité de matière qu'il contient. Pour une même substance homogène, la masse est proportionnelle au nombre de molécules.

Cette masse se mesure par comparaison à une masse témoin : la terre, qui exerce sur les corps une attraction connue sous le nom de pesanteur.

Pour s'en faire une idée, nous rappellerons la relation :

$$M = \frac{F}{\gamma} \qquad \text{ou} \qquad F = M\gamma$$

$$F = \text{force}; \qquad \gamma = \text{accélération}.$$

Une force est donc le produit d'une masse par l'accélération que cette masse reçoit de l'action de cette force. Si cette accélération est celle que le corps subit de l'action de la pesanteur, la force est appelée le poids du corps et l'on a :

$$P = Mg,$$

(1) D'après M. Guillaume, directeur du Bureau international des Poids et Mesures, il aurait été plus exact d'écrire : *La masse volumique d'un corps* est le quotient de la masse d'une quantité de ce corps par le volume qu'il occupe, et en nota : *La masse volumique d'un corps* est égale à la densité $+ \frac{1}{30.000}$ environ.

égalité dans laquelle g est l'accélération virtuelle de la pesanteur lorsque le corps est au repos.

La masse d'un corps est la même dans tous les lieux. C'est une quantité constante. Au contraire :

Son poids est proportionnel à l'accélération g de la pesanteur, variable suivant le lieu $g. = 981$ unités C. G. S. à Paris; 978 à l'équateur et 983 au pôle.

Le poids varie donc avec la latitude. On a admis que l'accélération normale a une valeur conventionnelle de 980,665 unités C. G. S. à 45° de latitude et au niveau de la mer.

En définitive, il ne faut pas confondre la masse d'un corps avec son poids. Le kilogramme-masse et le kilogramme-poids sont les unités de deux grandeurs différentes. Pour bien comprendre cette distinction, nous ferons remarquer que la balance ne pèse pas les corps mais compare leur masse en utilisant l'action de la pesanteur. L'appareil qui pèse réellement les corps est le peson à ressort qui mesure des forces ou des poids.

Enfin, au point de vue des unités commerciales, la masse est rapportée à la tonne et le volume au mètre cube.

b) Le mètre cube a été pris comme *unité commerciale* : il est défini géométriquement par le mètre, unité de longueur.

Nota : Le prototype international du mètre est d'environ 0,2 mm inférieur à la dix-millionième partie du 1/4 du méridien.

c) Du litre et du décimètre cube. — *Le litre* est employé dans les mesures de haute précision. On le fait dépendre du kilogramme-masse étalon et non du mètre. Il diffère du décimètre cube de $\frac{1}{30.000}$ pour des raisons qu'il convient d'expliquer :

Primitivement, le litre n'était que le nom abrégé du décimètre cube et le *kilogramme était défini comme étant la masse du décimètre cube d'eau à son maximum de densité.*

Or, lorsqu'il s'agit d'opérations précises, la réalisation par une pesée étant incomparablement plus facile que par des mesures d'épaisseurs, on a été tout naturellement conduit à réaliser pratiquement le litre en pesant une masse d'eau prise à son maximum de densité et égale à celle du kilogramme étalon. (La pesée est faite dans l'air à la pression normale (1) puis réduite au vide pour tenir compte de la poussée de l'air).

(1) On considérait, autrefois, l'eau comme incompressible, mais depuis on a reconnu qu'elle subit dans l'air un accroissement de densité égale à 50 millionièmes environ par atmosphère, quand la pression augmente. Il est donc nécessaire de ramener à 760 les pesées faites dans l'air avant de faire la réduction au vide.

En 1880, le Comité international des Poids et Mesures a entériné cet usage.

A cette époque, ce comité fixa par un texte la définition du litre. Mais on avait aucune idée de l'écart possible entre le kilogramme représenté par l'étalon des Archives de France et sa valeur telle qu'elle avait été définie à l'origine. Depuis, les importants travaux exécutés par le Bureau international des Poids et Mesures ont montré que le litre excède le décimètre cube de $\frac{1}{30.000}$ c'est-à-dire de 27 millionièmes de sa valeur (1 litre = 1,000 027 $\overline{dm}^3$).

Il s'ensuit donc que :

Le kilogramme des Archives, prototype international, excède de 27 mg la masse du décimètre cube d'eau prise à son maximum de densité.

Quoi qu'il en soit, les métrologistes concluent que l'extrême petitesse de cette différence permet, dans l'immense majorité des applications, de considérer comme rigoureusement équivalents le décimètre cube et le litre. La distinction ne doit être faite que pour les opérations de haute précision, auquel cas on doit se servir du litre « Métrologique ».

La vérification du litre doit être faite d'après la masse d'eau pure qu'il peut contenir.

Pour fixer les idées, nous donnerons, à titre d'exemples, certains chiffres qui seront utilisés plus loin dans divers calculs.

Le litre est le volume de :

1°	1.000 g	d'eau distillée	à 4°	dans le vide.
2°	999,49 g	—	à 12°,5	—
3°	999,16 g	—	à 15°	—
4°	998,084 g	—	à 15°	dans l'air et à 760 mm.

Remarque. — Les chiffres donnés en 2° et 3° sont extraits des tables de Rossetti, qui sont employés fréquemment jusqu'ici (*Ann. Ch. ph.*, S. 4, t. XVII, p. 375) malgré que des déterminations plus précises aient été faites par P. Chappuis, en 1904, et publiées dans les *Travaux et Mémoires du Bureau International des Poids et Mesures*. D'après ces déterminations : 998,466 g à 12°,5 et 999,1266 g à 15° seraient respectivement les masses du litre d'eau ramenées au vide et aux deux températures indiquées.

Enfin, le jaugeage d'un litre à 15° s'effectue en introduisant dans le vase : 998,084 g d'eau pure à 15° (fraîchement bouillie), en opérant dans l'air avec des poids en laiton et sous la pression normale.

On trouvera plus loin (p. 1059) les formules permettant de passer d'une des masses à l'autre, désignées dans le tableau ci-dessus.

d) *Masse spécifique et densité* (application de la loi du 2 avril 1919).

Connaissant les différences entre : 1° la masse et le poids; 2° le litre et le décimètre cube, on a :

1° *Par définition* et *en valeur absolue* :

La masse spécifique d'un corps à $t°$ est la masse de l'unité de volume à $t°$, déduite de la pesée par réduction au vide.

Elle dépend donc d'une masse et d'un volume. *Dans ce cas, la masse est exprimée en fonction du kilogramme étalon international et le volume en fonction du décimètre cube pris comme unité de volume.*

2° *En pratique,* on détermine : *en valeurs relatives* :

La densité d'un corps par rapport à l'eau en prenant le litre comme unité de volume.

On remarquera que : suivant les conditions de température, de pression, de réduction ou non au vide, la densité doit différer comme nous le faisons ressortir ci-dessus.

La densité à $t°$ est un terme qui, par définition, doit sous-entendre : densité $t°/4$ — 760 ramenée au vide. Elle représente le quotient de deux masses réduites au vide et ayant le même volume, c'est-à-dire :

$$\text{Densité } t/4 - \text{vide} - = \frac{\text{Masse (M) d'un volume (V) d'un corps à } t° \text{ dans le vide}}{\text{Masse (M') d'un volume (V) d'eau distillée à } 4° \text{ dans le vide}}$$

(déterminations faites à 760 mm puis corrigées de la poussée de l'air pour ramener les pesées au vide).

La densité obtenue a toujours une valeur constante pour un corps déterminé, elle est indépendante de g (accélération de la pesanteur) puisque le rapport de deux masses est numériquement le même que le rapport des deux poids correspondant P et P'. On a en effet :

$$\frac{M}{M'} = \frac{P}{g} : \frac{P'}{g} = \frac{P}{P'}.$$

La densité $t/4$ ne diffère de la *masse spécifique $t°$* que de $\frac{1}{30.000}$, c'est-à-dire de la différence entre le litre et le décimètre cube (1 litre = 1,000027 $\overline{dm}^3$.)

Observations. — Au point de vue de la terminologie, nous estimons que, pratiquement, nous devons, dans l'avenir, substituer à *densité $t/4$, dans le vide,* l'expression plus simple *masse spécifique $t°$*. Cette substitution aura l'avantage de ne jamais prêter à confusion lorsqu'il s'agira d'interpréter les chiffres des densités donnés par les auteurs.

Il est regrettable de voir que, jusqu'ici, la plupart d'entre eux se dispensent d'écrire en entier la valeur réelle des densités, qu'ils expriment tantôt par densité $t°$, tantôt par densité $t°/4$, etc.

Or, ces sortes d'abréviations sont contraires à la précision puisque ces désignations peuvent comprendre aussi bien des densités apparentes et arbitraires que des densités au vide.

Il en est de même lorsqu'on indique par exemple densité 15/15 qui exprime une densité correspondant au rapport de deux masses à 15° : telle que la masse d'un volume d'un corps à 15° à la masse du même volume d'eau à 15°, mais ce quotient peut se rapporter avec ou sans réduction au vide, c'est ce qu'il faudrait indiquer en complétant dans ce sens le terme densité 15/15.

D'après ces considérations, très importantes à notre avis, nous jugeons nécessaire de réserver en concordance avec l'esprit de la loi du 2 avril 1919 :

1° L'expression de *masse spécifique t°* pour la densité réelle à *t°* comme elle a été définie plus haut;

2° Le terme *densité* avec ses compléments nécessaires pour les densités de toutes autres valeurs que la première.

Applications.

a) **Détermination de la masse spécifique à *t°*. Formules fondamentales.**

Lorsque, par la méthode du flacon, on détermine la masse spécifique, on obtient d'abord dans l'air

$$\text{Densité } t/t = \frac{M}{M'} = \frac{\text{Masse d'un volume (V) de liquide à } t^{\circ} \text{ à } 760}{\text{Masse d'un volume (V) d'eau distillée à } t^{\circ} \text{ à } 760}.$$

M et M′ sont les masses apparentes dans l'air à *t°* indiqués par les poids employés. La poussée de l'air fait perdre à la valeur de ces deux masses une quantité égale à la masse du volume d'air déplacé.

$$1^{\circ} \quad \frac{M}{c} \times a \qquad \text{et} \qquad 2^{\circ} \quad \frac{M'}{c} \times a$$

a étant la masse du litre d'air à *t°*; *c* la masse spécifique des poids employés.

Dans le vide, les masses M et M′ seront respectivement :

$$1^{\circ} \qquad M - \frac{M}{c} \times a \qquad \text{ou} \qquad M\left(1 - \frac{a}{c}\right),$$

$$2^{\circ} \qquad M' - \frac{M'}{c} \times a \qquad \text{ou} \qquad M'\left(1 - \frac{a}{c}\right).$$

Remarque. — Le volume (V) reste le même dans l'air et dans le vide.

Si *g* est la masse spécifique du *liquide à t°*,
G — — de *l'eau distillée à t°*.

En tenant compte comme plus haut, de la poussée de l'air sur les liquides (1), on aura définitivement :

$$M\left(1-\frac{a}{c}\right)=Vg-Va=V(g-a), \quad [1]$$

$$M'\left(1-\frac{a}{c}\right)=VG-Va=V(G-a). \quad [2]$$

En divisant (1) par (2) on aura :

$$\frac{M}{M'}=\frac{g-a}{G-a}.$$

La masse spécifique (g) du liquide à $t°$ sera :

$$g=\frac{M}{M'}(G-a)+a \quad [3]$$

g devient dans la formule (3) indépendant du volume et de la poussée de l'air sur les poids marqués.

Au cas où l'on connaîtrait le volume exact du flacon ($V = 1.000$ cm³ par exemple), la formule (1) suffirait et l'on aurait :

$$g=\frac{M}{V}\left(1-\frac{a}{c}\right)+a. \quad [4]$$

Nota. — Indiquons par exemple les valeurs de G et de (a) aux températures $t = 15°$ et $t = 12°,5$, valeurs dont nous aurons besoin plus loin.

Nous avons déjà indiqué (p. 1055) les valeurs de G à 15° et à 12°,5 (999,16 et 999,49 d'après Rossetti).

Quant à la valeur de (a) ou de la masse du litre d'air à 15° et à 12°,5, on sait d'après Berthelot, Coulier et d'Almeida que la masse du litre d'air à zéro — 760 est égal à 1,2932 g.

Sachant que :

$$V_0D_0=V_0(1+\alpha D_t)\,; \qquad \text{avec} \qquad \alpha=0{,}00367,$$

on a :

$$D_{15°}=\frac{1{,}2932}{1+0{,}00637\times 15}=\frac{1{,}2932}{1{,}05505}=1{,}226 \text{ g ou } (a) \text{ à } 15°.$$

$$D_{12°,5}=\frac{1{,}2932}{1+0{,}00367\times 12{,}5}=\frac{1{,}2932}{1{,}04587}=1{,}236 \text{ g ou } (a) \text{ à } 12°,5.$$

(1) Nous ne faisons plus intervenir la correction sur le vase qui contient les liquides dans les deux déterminations.

b) **Masse apparente dans l'air d'un litre de liquide à** $t°$.

La formule [1] établie plus haut, donne, si on exprime les valeurs en kilogrammes et V = 1 litre :

$$M = \frac{(g - a)c}{c - a}. \qquad (5)$$

EXEMPLES.

1° *Masse apparente d'un litre d'eau à 15° dans l'air à 15° et à 760 ou* $M_{15°}$.

$g = 0{,}99916$ kg, masse spécifique de l'eau à 15°,
$a = 0{,}001226$ kg, masse d'un litre d'air à 15°,
$c = 8{,}4$ kg, masse spécifique du laiton.

$$M_{15°} = \frac{(0{,}99916 - 0{,}001226)8{,}4}{8{,}4 - 0{,}001226} = \frac{8{,}3826456}{8{,}398774} = 0{,}99808 \text{ kg ou } 998{,}08 \text{ g};$$

chiffre intéressant à connaître pour le jaugeage de la verrerie.

2° *Masse apparente d'un litre d'eau à 12°,5 dans l'air à 12°,5, et à 760, ou* $M_{12°,5}$.

$g = 0{,}99949$ kg, masse spécifique de l'eau à 12°,5,
$a = 0{,}001236$ kg, masse du litre d'air à 12°,5,
$c = 8{,}4$ kg, masse spécifique du laiton.

$$M_{12°,5} = \frac{(0{,}99949 - 0{,}001236)8{,}4}{8{,}4 - 0{,}001236} = \frac{8{,}3853336}{8{,}398764} = 0{,}998404 \text{ kg ou } 998{,}404 \text{ g}.$$

Observation. — Nous avons pris ces deux exemples pour avoir des chiffres qui nous serviront dans les calculs ultérieurs.

III. — Degrés Baumé et masse spécifique.

Calcul de la masse spécifique d'un liquide à 15° en fonction du degré Baumé pris à la même température. Dans le tableau II annexé au décret du 26 juillet 1919, on indique la correspondance entre le degré Baumé et les densités à 15°.

a) *Pour les liquides plus denses que l'eau,* on se base sur la formule de transformation :

$$\text{Densité} = \frac{144{,}32}{144{,}32 - n};$$

(n) étant le degré Baumé. Le module 144,32 proposé par M. Violle avait déjà été admis en 1904 par le Conservatoire national des Arts et Métiers dans son règlement pour la vérification des pèse-liquides.

b) *Pour les liquides moins denses que l'eau*, on se base sur la formule :

$$\text{Densité} = \frac{144{,}32}{134{,}32 + n}.$$

Observations. — Cette dernière formule diffère de celle inscrite au tableau II qui indique au dénominateur : 144,32 au lieu de 134,32, erreur d'impression sans doute, mais que nous retrouvons dans beaucoup d'ouvrages bien antérieurs à la loi. En outre, nous constatons un oubli qui prête à confusion : celui de ne pas spécifier la valeur exacte des densités. Il n'y a, en effet, aucune indication ni de la température, ni de l'unité à laquelle les densités sont rapportées.

Ce défaut de renseignements est assez fréquent; il a l'inconvénient d'ôter toute précision aux chiffres lus sur le tableau. Ces observations nous conduisent à l'étude des formules et des modules des aréomètres.

Formules et modules des aréomètres Baumé. — Il est intéressant de connaître sur quelles bases le module 144,32 a été établi, d'autant plus que, pour un même instrument aréomètre Baumé, ce module varie suivant divers pays.

Ainsi, en Amérique, on emploie tantôt le module 141,5 tantôt 140. En Hollande, on emploie le module ancien 125, répondant à l'aréomètre primitif de Baumé. Nous ne parlons pas, pour le moment, des aréomètres Beck, Brix, Balling, etc., dont les modules sont complètement différents puisque le mode de construction de ces instruments est tout autre que celui des aréomètres Baumé.

Sans nous étendre sur le type de construction primitive de ce dernier, il est intéressant de savoir que le chimiste Baumé prit comme base de graduation :

1° Zéro, pour l'immersion dans l'eau distillée à 12°,5 ;

2° 15 dans une solution salée à 15 p. 100, à 12°,5.

L'aréomètre était construit pour marquer 66° dans l'acide sulfurique concentré de densité 1,84. Berthelot, Coulier et d'Almeida, dans un travail très complet sur la vérification de l'aréomètre de Baumé (1) cherchèrent à réaliser au mieux les conditions indiquées par cet auteur. Ils se basèrent sur la solution salée employée par Baumé, déterminèrent la masse spécifique de cette solution et calculèrent, en conséquence, la graduation de l'aréomètre.

Le module de leur aréomètre correspondait à 148,516 mais on s'aperçut que l'acide sulfurique concentré marquait 68°,5. Ces chiffres ne furent jamais admis par les industriels.

(1) Gauthier-Villars, 1873.

Les constructeurs français adoptèrent le module 144,32 dont nous chercherons à connaître l'origine pour comprendre la différence avec d'autres modules qui se rapportent au même instrument.

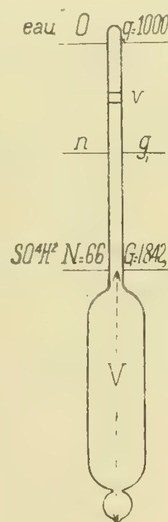
Nous avons calculé les formules fondamentales des aréomètres en nous basant sur les chiffres donnés par la Commission de Métrologie.

Établissement actuel des aréomètres Baumé. Rapport des degrés Baumé aux densités. — D'après l'avis de la Commission de Métrologie et celui du Comité consultatif des Arts et Manufactures, voici sur quelles bases doit être construit l'aréomètre pour les liquides plus denses que l'eau.

Le degré zéro Baumé correspond à un liquide dont la densité à 15° est égale à celle de l'eau à 4°, dans le vide, densité que l'on exprime numériquement par 1000.

Le degré 66 Baumé correspond à la densité 1842,7 donnée par Gay-Lussac pour SO^4H^2 concentré, à la température de 15°, rapportée à celle de l'eau à 4° dans le vide.

Observation. — Les densités indiquées dans le tableau II du décret correspondent donc à des masses spécifiques à 15°. C'est un renseignement que l'on aurait dû ajouter à ce tableau, étant donné que ce qui précède n'a pas été publié.



Calcul du module de l'aréomètre Baumé.

1° *Pour les liquides plus denses que l'eau.*

L'aréomètre a une masse constante (M) qui fait équilibre à la masse du liquide déplacé.

a) *Dans l'acide sulfurique concentré.* Si :

G : Masse spécifique à 15° de SO^4H^2 ;

N : Point d'affleurement à une division au-dessous de zéro ;

V : est le volume de l'aréomètre immergé ;

on a :

$$M = VG. \qquad [1]$$

b) *Dans l'eau distillée à 15°*,

on a :

g = masse spécifique de l'eau à 15°.

Si v est le volume compris entre deux divisions de la tige :

on a :

$$M = (V + Nv)g. \qquad [2]$$

c) Dans un liquide intermédiaire.

Soit n : point d'affleurement au-dessous de zéro,
g_1 : masse spécifique de ce liquide,

(n et g_1 sont les inconnues que l'on cherche) ;
on a :

$$M = (V + (N - n)v)g_1. \qquad [3]$$

Des équations (1) et (2) on tire :

$$VG = Vg + Ngv; \qquad G = g + Ng\frac{v}{V},$$

d'où :

$$\frac{v}{V} = \frac{G - g}{Ng}. \qquad [4]$$

Les équations (1) et (3) donnent :

$$VG = Vg_1 + g_1(N - n)v,$$
$$G = g_1 + g_1(N - n)\frac{v}{V}.$$

En remplaçant $\frac{v}{V}$ par la valeur (4)

$$G = g_1\left(1 + \frac{(N - n)(G - g)}{Ng}\right),$$
$$G = g_1\left(\frac{Ng + (N - n)(G - g)}{Ng}\right). \qquad [5]$$

De l'équation (5) on trouve les équations fondamentales cherchées I et II.

(I) $$g_1 = \frac{GNg}{Ng + (N - n)(G - g)}.$$

(II) $$n = N - \frac{Ng(G - g)}{g_1(G - g)}.$$

Si on remplace les lettres par leur valeur :

$$N = 66; \qquad g = 1 \qquad \text{et} \qquad G = 1,8427.$$
$$g_1 = \frac{1,8427 \times 66 \times 1}{66 \times 1 + (66 - n)(1,8427 - 1)} = \frac{1,8427 \times 66}{66(1 + 0,8427) - 0,8427n}.$$

Donc, *pour les liquides plus denses que l'eau*

$$g_1 = \frac{144,32}{144,32 - n}$$

on a :

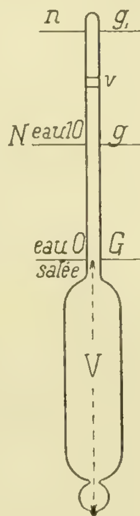
$$n = 144,32 - \frac{144,32}{g_1}.$$

D'où les formules générales de l'aréomètre pour plus denses que l'eau : (M) étant le module :

$$D = \frac{M}{M - n} \qquad \text{et} \qquad n = M - \frac{M}{D}.$$

2° *Pour es liquides moins denses que l'eau.*

D'après certains auteurs, l'ancienne graduation française de Baumé des aréomètres pour liquides moins denses que l'eau, serait encore en usage en Hollande; il n'est donc pas sans intérêt de rappeler sur quelle base Baumé avait fait son aréomètre. Cela nous montrera que, si les *formules générales* relatives aux transformations des degrés Baumé en densité restent les mêmes pour l'ancienne et la nouvelle graduation de cet instrument, *les modules* employés ne sont pas les mêmes.



D'après les données de Baumé :

Le zéro indique l'immersion à 12°,5 de l'aréomètre dans un mélange composé de 90 parties en poids d'eau distillée, 10 parties en poids de sel marin.

La division 10 correspond à l'immersion dans l'eau distillée (1) à 12°,5.

Entre *0* et *10* on peut écrire comme pour les liquides plus denses que l'eau :

$$\frac{v}{V} = \frac{G - g}{Ng}; \qquad N = 10.$$

L'aréomètre ayant une échelle ascendante, la valeur de (n) que nous cherchons correspond à une division au-dessus du zéro, et non ($N - n$) comme dans les aréomètres pour liquides plus denses que l'eau.

g_1, correspond à la division (n).

La formule (5) établie plus haut devient :

$$G = g_1 \left(\frac{Ng + n(G - g)}{Ng} \right),$$

d'où :

$$g_1 = \frac{GNg}{Ng + n(G - g)} \quad (1); \qquad n = \frac{Ng(G - g_1)}{g_1(G - g)}. \qquad (2)$$

Le travail de Berthelot, Coulier, D'Almeida nous indique que Baumé graduait son aréomètre en fonction de la densité apparente de l'eau salée;

(1) C'est à tort que des auteurs indiquent que l'immersion dans l'eau distillée marque 0 à l'aréomètre.

la solution d'eau salée à 10 p. 100 correspondant au zéro, a une densité apparente de 1,0847 à 12°,5; la masse apparente du litre d'eau pure est égale à 0,998 404 à 12°,5 (voir p. 1059).

Donc : dans la formule [1] on a :

$$G = 1{,}0847; \qquad N = 10; \qquad g = 0{,}998404$$

d'où :

$$g_1 = \frac{1{,}0847 \times 10 \times 0{,}998404}{10 \times 0{,}998404 + n(1{,}0847 - 0{,}998404)} = \frac{125}{115 + n}$$

$$n = \frac{125}{g_1} - 115.$$

Pour les liquides moins denses que l'eau, les formules générales sont :

$$D = \frac{M'}{M' - 10 + n}; \qquad n = \frac{M'}{D} - (M' - 10).$$

Il n'était pas inutile de rappeler l'origine de ces formules, car dans bien des ouvrages on oublie de retrancher 10 de M' au dénominateur. Cette erreur est encore introduite dans la formule qui accompagne le tableau II du décret du 26 juillet 1919.

C'est ce que nous avons voulu établir.

Le module 125 est depuis longtemps abandonné en France ; la Commission de Métrologie de 1919 a sanctionné cette manière de voir; il lui a paru avantageux, en effet, de prendre pour les deux aréomètres envisagés, le même module et faire :

$M = M' = 144{,}32$ à la température de 15° pour les lectures (1) :

En résumé on a adopté en France pour la construction des aréomètres Baumé :

1° *Pour les liquides plus denses que l'eau :*

$$D = \frac{M}{M - n} \qquad \text{et} \qquad n = M - \frac{M}{D}.$$

2° *Pour les liquides moins denses que l'eau :*

$$D = \frac{M}{M - 10 + n} \qquad \text{et} \qquad n = \frac{M}{D} - (M - 10).$$

(1) Les constructeurs français graduent les aréomètres pour les liquides moins denses que l'eau de façon que la division 10 correspond à un liquide qui, à 15°, possède une densité égale à celle de l'eau à 4° dans le vide, et marque 20, dans un liquide ayant une densité à 15/4 dans le vide, égale à 0,9352 (liquides alcooliques en général).

Dans ces formules :

D = *Densité* 15/4, *dans le vide* ;
M = 144,32 ;
n = *degré Baumé.*

Ce sont les valeurs données par le tableau II du décret précité.

Connaissant ainsi les valeurs absolues de la graduation des aréomètres Baumé, nous comprendrons mieux ce qui les différencie des aréomètres étrangers, surtout de ceux qui portent le nom de Baumé.

Signalons par exemple :

L'aréomètre hollandais dit « Baumé » qui correspond à l'ancienne graduation française.

En Amérique, où nous faisons d'importantes transactions commerciales de produits pétrolifères, on se sert de degrés Baumé mais le module employé est différent de celui que l'on utilise actuellement en France.

Nous avons constaté dans la description des essais et « standard essais » recommandés par la National Petroleum Association (septembre 1920), que : le module de conversion employé par le commerce des huiles, était 141,5, tandis que l'United States Bureau of Standards a recommandé le module 140. Il ajoute que le *poids* (1) *spécifique* est donné à 15,555, ce que l'on désigne par S. P. G. 60/60 F.

Cette dernière désignation est, d'après les données américaines, le quotient obtenu en divisant le poids du volume d'huile à 60° Fahrenheit (15,555°), par le poids du même volume d'eau à 60° F. D'après ces dernières explications, nous constatons que nous avons affaire, non pas à une masse spécifique (15,555°), mais à une densité apparente dans l'air.

Les formules américaines répondent aux égalités suivantes pour les liquides moins denses que l'eau :

1° Soit :

$$\text{Densité} = \frac{141{,}5}{131{,}5 + n}; \qquad n = \frac{141{,}5}{\text{Densité}} - 131{,}5.$$

2° D'après le Bureau of Standards :

$$\text{Densité} = \frac{140}{130 + n}; \qquad n = \frac{140}{\text{Densité}} - 130.$$

Si on ne connaît pas la valeur exacte de tous ces chiffres, il est difficile de s'entendre dans nos transactions commerciales avec les Américains. Les difficultés seront d'autant plus grandes, s'il s'agit de produits pétrolifères qui se traitent par milliers de tonnes; nous aurons plus loin l'occasion de faire ressortir à nouveau les inconvénients de ce défaut de précision.

(1) Il faudrait lire masse d'après nos conventions.

Enfin, pour en finir avec cette question si embrouillée des aréomètres à divisions arbitraires, signalons encore :

L'*aréomètre Beck* avec son module 170 et $D = \frac{170}{170 \pm n}$ à 12°,5; les deux sortes d'aréomètres doivent être immergés au zéro dans l'eau distillée.

L'*aréomètre Balling* : module 200; $D = \frac{200}{200 \pm n}$ à 17°,6.

L'*aréomètre Brix* : module 400; $D = \frac{400}{400 + n}$ à 15°,6.

Les *aréomètres Twalde* (anglais); *Flascher* (allemand), etc., ont aussi des graduations différentes.

Si nous nous sommes un peu étendus sur le principe de construction des divers aréomètres à divisions arbitraires, c'est pour attirer l'attention sur des instruments si mal connus en général. Nous verrons plus loin, en examinant les densimètres, qu'il faut encore être prudent en ce qui concerne l'acceptation des résultats qu'ils fournissent.

De la détermination densimétrique.

Densimètres.

En principe, les densimètres doivent donner immédiatement la masse spécifique des liquides à la température où l'on opère (15° habituellement); c'est-à-dire la masse du litre, ou, en d'autres termes, la densité $t°/4$, ramenée au vide.

Ainsi, par exemple, un densimètre plongé dans l'eau distillée à 15° C. doit marquer 999,16 g masse du litre d'eau à 15° ramenée au vide. Les résultats donnés par les densimètres doivent concorder avec ceux obtenus à la balance après toutes corrections faites pour ramener les densités au vide et par rapport à l'eau à 4°.

Observations. — Malgré cette définition nette des densimètres légaux, il serait désirable, afin d'éviter toute équivoque, que chaque constructeur indiquât sur ses densimètres cette mention : « Masse spécifique 15° ».

Du degré de précision des divers aréomètres et des densimètres.

Les aréomètres à divisions arbitraires, comme les densimètres, doivent être soumis au contrôle du Laboratoire d'Essais du Conservatoire national des Arts et Métiers.

La loi du 6 juin 1889 qui prescrivait la vérification des densimètres

employés en sucrerie et en distillerie a été remplacée par celle du 29 mars 1907 qui a étendu la vérification à tous les densimètres et alcoomètres.

La vérification des aréomètres Baumé est faite sur les bases que nous avons indiqués (p. 1061 à 1064).

Quant aux densimètres, ils sont vérifiés et gradués sur les bases suivantes :

En dessous de 850, dans les pétroles ;

De 850 à 1.000 dans les mélanges d'alcool et d'eau ;

De 1.000 à 1.400 dans les mélanges d'eau et d'acide sulfurique ;

Au-dessus de 1.400 dans les solutions de chlorure de zinc.

Ces divers mélanges sont employés pour tenir compte, dans la plus large mesure, des effets dus aux tensions capillaires des liquides.

Malgré cette précaution, on n'est pas toujours certain qu'un densimètre donné indiquera le même chiffre pour deux liquides ayant la même masse spécifique, si leur tension superficielle est différente.

Les règlements (1) *prescrivent de faire la lecture en dessous du ménisque dans le plan du niveau du liquide, sauf* exception pour des instruments spécialement construits, sur demande, pour des liquides opaques.

Erreurs dues aux lectures. — Elles sont de deux sortes :

I. — Celles des lectures faites au-dessus du ménisque au lieu d'être faites en dessous.

II. — Les erreurs dues à la forme du ménisque.

I. — Lectures faites au-dessus du ménisque.

Nous laissons de côté, bien entendu, les aréomètres spéciaux dont on spécifie d'avance le genre de lecture à faire.

La plupart du temps, on possède des instruments gradués pour les liquides quelconques dont la lecture doit être faite en dessous du ménisque (2), mais on l'ignore en général ou, tout au moins, on n'y prête pas attention lorsqu'il s'agit de prendre le degré densimétrique d'un liquide opaque tel que, par exemple, les huiles ou les produits pétrolifères.

Les aréomètres Baumé sont généralement gradués en degrés et rarement en 1/2 ou dixièmes de degré.

Les densimètres, instruments plus précis, peuvent avoir le même genre de graduation, mais sont le plus souvent étalonnés au millième, c'est-à-dire qu'une division représente 1 g par rapport au litre.

La grandeur des erreurs est donc fonction du genre de graduation.

(1) Voir Règlement pour la Vérification des Pèse-liquides, au Laboratoire d'Essais du Conservatoire national des Arts et Métiers (Paris, le 30 mai 1904).

(2) Règlement précité.

Suivant que l'on fait la lecture au-dessus du ménisque ou au-dessous, l'erreur est de :

1 degré environ pour les aréomètres Baumé. En ce qui concerne les densimètres, la lecture faite au-dessus du ménisque porte l'erreur à 2/1000 environ.

Remarques. — 1° *Avec les aréomètres pour liquides moins denses que l'eau* : 1° Baumé correspond à une erreur moyenne de 5/1000 par rapport à la masse spécifique que l'on cherche, c'est-à-dire 5 g par litre de liquide.

2° *Avec les aréomètres pour liquides plus denses que l'eau* : 1° Baumé correspond à une erreur moyenne de 15/1000 par rapport à la masse spécifique, soit 15 g par litre.

Dans les limites de 60° Baumé, l'erreur est plus importante; ainsi, entre 65 et 66° Baumé, l'écart entre les masses spécifiques correspondantes serait de $1842,7 - 1819,5 = 23,2$ g.

II. — Erreurs dues à la forme du ménisque.

La forme du ménisque est fonction de la tension superficielle du liquide. L'effort capillaire sur l'aréomètre augmente sa masse d'une valeur (pf) dans laquelle (p) représente le périmètre mouillé et (f) la tension capillaire par unité de longueur. La masse (pf) a souvent une importance plus grande au point de vue des résultats que les erreurs de lecture que nous avons signalées plus haut.

L'effort capillaire peut varier avec un même liquide suivant qu'il est plus ou moins propre à sa surface. Quelques fines poussières suffisent pour aplatir le ménisque et occasionner une erreur de 3/1000 dans la lecture faite sur un instrument très bien étalonné.

Certains constructeurs ont cherché à éviter cette erreur en faisant déborder le liquide de l'éprouvette avant de faire la lecture du densimètre; mais on ne se débarrasse pas des fines particules solides en suspension et qui peuvent être accidentelles pour une même nature de liquide.

Nous n'avons sans doute pas mentionné toutes les erreurs qui peuvent se produire avec les aréomètres; signalons encore, pour terminer, celles qui peuvent résulter de l'altération du verre. En 1880, Saleron signalait à l'Académie des Sciences la perte subie par les aréomètres plongés dans des liquides contenant des chlorures ou des nitrates; en quelques jours, un aréomètre avait perdu 5 à 6 dg de sa masse, donnant lieu à des erreurs de 7 à 8° Baumé.

En résumé, même avec des instruments densimétriques précis on ne peut

compter normalement sur la 3[e] décimale. Si l'instrument est rendu très sensible en augmentant sa carène, il devient un véritable thermomètre qui fait changer son immersion pour la plus faible variation de température.

Quant aux aréomètres Baumé ils sont si peu sensibles en général et diffèrent tant avec les pays qu'ils doivent être rejetés dans toutes les transactions commerciales d'une certaine importance, comme celles des pétroles, qui se chiffrent par des milliers de tonnes pour chaque opération ; il est donc nécessaire que la dernière loi soit appliquée au plus tôt.

III. — Balances aréothermiques.

Nous en connaissons divers modèles; la plus connue est celle de Mohr, mais le principe reste le même dans tous les cas.

Cette balance ne donne pas directement la masse spécifique des liquides; nous pouvons l'obtenir en faisant les corrections que nous indiquerons plus loin.

La balance marque 1.000 lorsque le flotteur plonge dans l'eau distillée à 15°, tandis qu'en réalité on devrait lire 998,084 g, ou masse du litre d'eau à 15° C. pesé dans l'air, pression —760.

Une unité de la balance ne correspond donc qu'à 0,998084.

Dès lors, pour un liquide quelconque, si la balance marque (M) g, nous devons multiplier M par 0,998084 pour obtenir la masse apparente, en grammes, d'un litre de liquide à 15°, dans l'air —760.

$$M \times 0{,}998084. \qquad [1]$$

Pour obtenir la masse spécifique à 15°, il faut tenir compte de la perte dans l'air, des poids employés.

On se servira de la formule [4] établie (page 1058) :

$$g = \frac{M}{V}\left(1 - \frac{a}{c}\right) + a = \text{masse spécifique},$$

dans laquelle $\frac{M}{V}$ correspond à $M \times 0{,}998084$.

$a = 1{,}226$ g, masse du litre d'air à 15° — 760.
$c = 8.400$ g, masse spécifique du laiton.

On a donc :

$$g = M \times 0{,}998084\left(1 - \frac{1{,}226}{8.400}\right) + 1{,}226$$

$$g = M \times 0{,}997934 + 1{,}226. \qquad [2]$$

Vérification de la formule [2].

Prenons le cas de l'eau à 15°, la balance indique 1.000 g = M; on a :

$$g = 1.000 \times 0,997934 \text{ g} + 1,226 \text{ g} = 999,16 \text{ g}.$$

Résultat donné par le densimètre ou masse spécifique de l'eau à 15°, ou densité 15/4 dans le vide.

En résumé, on doit savoir que la balance aréothermique ne donne qu'une densité arbitraire.

A 15° elle marque 1.000 dans l'eau distillée.

Le chiffre trouvé (M) en grammes donnera :

1° $M \times 0,998084$ = la masse apparente dans l'air d'un litre de liquide à 15°.

2° $M \times 0,997934 + 1,226$ = masse spécifique à 15° ou densité 15/4 dans le vide.

On oublie presque toujours de faire ces corrections; dans ces conditions les résultats donnés par la balance n'ont aucune précision; tandis qu'au contraire, si on les observe, on peut obtenir des résultats meilleurs qu'avec les densimètres.

En effet :

Les erreurs dues aux tensions capillaires sont pratiquement supprimées avec la balance aréothermique, les phénomènes ne pouvant s'exercer ici que sur un fil très fin (1).

La balance supprime toute une série de densimètres qui souvent ne concordent pas entre eux. Une fois bien réglée, la balance peut donner des résultats comparables à ceux obtenus par la méthode du flacon; elle a l'avantage de pouvoir faire des déterminations rapides.

Pour des liquides tels que les essences minérales, les pétroles, etc., l'équilibre se fait automatiquement; il n'y a aucune incertitude, point de précautions spéciales à prendre pour la lecture comme c'est le cas avec les densimètres. Nous pensons que l'emploi de cavaliers donne plus de précision que l'usage de certains curseurs qui se glissent sur le fléau de diverses balances aréothermiques.

Signalons pourtant que l'essai des liquides visqueux présente des inconvénients. Dans ce cas, le flotteur de la balance éprouve une certaine résistance due au frottement, l'état d'équilibre devient incertain par la diminution de la force vive du flotteur; celui-ci ne peut vaincre la résistance des couteaux de la balance aussi facilement que lorsqu'il s'agit de liquides très fluides.

Dans ce cas spécial il est nécessaire que le flotteur ait une masse plus forte afin de diminuer sa force d'inertie dans les liquides visqueux; on rend ainsi

(1) Employer un fil de platine-platiné qui évite toute tension capillaire.

de la sensibilité à la balance. Enfin pour faciliter la détermination il suffirait de laisser le flotteur s'équilibrer tranquillement en lui opposant un poids (P) et ensuite achever la lecture en mesurant l'inclinaison du fléau comme dans la plupart des balances de laboratoire. En fait, ces dernières peuvent servir comme balances aréothermiques en les disposant à cet effet.

En tenant compte de toutes ces conditions et en faisant les corrections indiquées, on peut facilement compter sur la troisième décimale des résultats donnés par la balance aréothermique et avoir la masse spécifique d'un liquide à t^o.

IV. — Méthode du flacon.

A l'aide d'un picnomètre, on détermine à 15° la densité apparente du liquide.

$$\frac{M}{M'} \text{ à 15° dans l'air.}$$

M masse du liquide et M′ masse du même volume d'eau; il faut avoir grand soin dans cette opération, d'affleurer exactement à la température de 15°, surtout avec des liquides qui ont un coefficient de dilatation très marqué comme les essences par exemple.

La masse spécifique à 15° ou densité 15/4 dans le vide est donnée par la formule établie (p. 1058).

$$g_{15} = \frac{M}{M'}(G - a) + a. \qquad [1]$$

Remarque. — Dans cette formule le volume n'intervient pas; on opère avec un picnomètre ayant un trait de jauge quelconque, le volume reste le même pour les deux pesées.

Si on opère avec un ballon jaugé exactement à 15°, on connaît V et l'on emploie la formule donnée (p. 1058).

$$g_{15} = \frac{M}{V}\left(1 - \frac{a}{c}\right) + a. \qquad [2]$$

Dans les formules [1] et [2]

$G = 999{,}16$ g, masse du litre d'eau à 15° dans le vide.
$a = 1{,}226$ g — d'air à 15° —
$V =$ nombre de centimètres cubes.
$C = 8.400$ g (8,4, masse spécifique du laiton).

Exemples : Détermination de la masse spécifique d'une essence.

1° Au picnomètre ayant un trait de jauge sans indication de volume :

$M = 72{,}846$ g, masse de l'essence à 15° dans l'air.

$M' = 89{,}128$ — l'eau —

$$\frac{M}{M'} = \frac{72{,}846}{89{,}128} = 0{,}8173,$$

$$(G - a) \text{ à } 15° = 999{,}16 - 1{,}226 = 997{,}934$$

$$\frac{M}{M'}(G - a) = 0{,}8173 \times 997{,}934 = 815{,}61$$

$$+ a = \quad 1{,}226$$

d'où $$(G - a) + a = 816{,}836$$

ou masse spécifique de l'essence à 15° ou densité 15/4 dans le vide, la pression barométrique étant normale.

2° *Avec un ballon jaugé à 100 cm³ à 15°*, on a : $M = 81{,}57$ g, masse de 100 cm³ d'essence à 15° dans l'air.

D'après la formule (1) :

$$g = \frac{M}{V}\left(1 - \frac{a}{c}\right) + a$$

$$g = \frac{81{,}57}{100}\left(1 - \frac{1{,}226}{8.400}\right) + 1{,}226 \text{ g}$$

$$g = 816{,}807.$$

Observations. — La méthode du flacon donnera toujours d'excellents résultats, mais à condition d'observer certaines précautions.

Il faut lire le 1/10 de degré pour l'affleurement des liquides, surtout lorsqu'on a affaire à des liquides très dilatables (1).

On se sert généralement de flacons à cols étroits; les erreurs dues à la tension capillaire sont insignifiantes ou peuvent être considérées comme constantes.

Pour les liquides visqueux, la méthode du flacon devient difficile. On est amené à prendre des flacons à col relativement large (1 à 2 cm); la tension capillaire du ménisque intervient, l'erreur que l'on peut commettre dans les pesées est d'autant plus forte que le volume du liquide est moindre en supposant que le diamètre du col du ballon soit le même dans les deux cas.

Demichel indique (*Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse*, 1900) qu'avec un ballon ordinaire de 100 cm³ ayant 2 cm de section et un périmètre de 50 mm :

(1) Cette remarque s'applique au jaugeage d'un ballon que l'on calcule par la formule :

$$V = \frac{M\left(1 - \frac{a}{c}\right)}{G - a}$$

tirées des formules précédentes.

1° Si on le remplit d'eau pure fraîchement bouillie et sachant que la force capillaire est de 7,25 mg par millimètre de contour, la masse du ménisque est égale à $7{,}25 \times 50 = 362{,}5$ mg.

Au contraire, si l'eau n'est pas absolument pure, le ménisque n'est pas identique au précédent, la force capillaire n'est plus que de 6 mg par exemple, la masse du ménisque ne sera plus que de $50 \times 6 = 300$ mg, soit une différence de 62,5 mg entre les deux pesées.

On voit que cette erreur n'est pas négligeable et généralement on n'y prête point d'attention tout en cherchant à faire, d'un autre côté, à la balance, des pesées au milligramme.

Remarque. — *Pour terminer, nous nous demandons si, dans certains cas, on ne devrait pas donner plutôt la densité apparente, c'est-à-dire la masse de l'unité de volume dans l'air, au lieu de la masse spécifique?*

Pour les mesures de précision, celles qui se rapportent aux recherches scientifiques, aucun doute possible; nous devons toujours déterminer la masse spécifique pour avoir une base absolue de comparaison. Quant aux mesures qui se rapportent aux transactions commerciales, ne serait-il pas rationnel de donner la densité apparente, c'est-à-dire la masse de l'unité de volume dans l'air.

Dans ce dernier cas, en effet, il s'agit de connaître la masse de marchandises qui, dans bien des circonstances, se détermine directement sur une bascule.

La question se pose et mérite d'être étudiée pour éviter d'avoir à noter certaines anomalies du genre de celle-ci : faire un achat basé sur la masse apparente et pratiquer ensuite à la réception ou dans un recensement, un contrôle basé sur la détermination de la masse spécifique et du volume?

V. — Conclusions.

Par définition, la *masse spécifique à t°* ou masse de l'unité de volume correspond pratiquement à l'expression : *densité t°/4, dans le vide*, elle ne diffère numériquement de la première que de $\frac{1}{30.000}$, c'est-à-dire de la différence entre le litre et le décimètre cube (1 litre $= 1{,}000027$ $\overline{\text{dm}}^3$).

Le premier terme : *masse spécifique t°* étant plus simple, il doit être employé pour éviter toutes confusions avec les autres densités apparentes ou arbitraires.

La masse spécifique ne doit pas être confondue, même pratiquement, avec *densité t°/4* qui ne représente qu'une densité apparente lorsqu'on n'indique pas qu'elle est obtenue de la pesée par réduction au vide.

En tout cas, aucun tableau de densités ne devrait être publié sans les indications ci-dessus, pour éviter toute équivoque.

Nous préconisons l'emploi de balances aréothermiques (en tenant compte, bien entendu, des corrections que nous avons indiquées), de préférence aux densimètres qui, outre les défauts dans leur étalonnage, peuvent varier à l'usage.

Les degrés Baumé doivent être exclus au plus tôt de nos déterminations densimétriques comme étant susceptibles de donner des erreurs très préjudiciables à notre commerce. Ce vœu est du reste conforme à la loi de 1919.

Enfin, nous pensons que le décret-loi de 1919, sur nos unités secondaires de mesures, n'a pas été suffisamment répandu dans nos journaux scientifiques. Bien des points auraient pu être déjà étudiés comme nous l'avons fait au sujet des degrés densimétriques.

L'unification réelle de nos définitions et de nos mesures doit s'imposer comme le veut la loi.

Cette unification serait la première étape rationnelle vers la standardisation universelle que l'on cherche à établir en vue de faciliter les transactions commerciales.

F. Bordas,
directeur du Service des Laboratoires du Ministère des Finances,
membre du Conseil de la Société d'Encouragement.

F. Touplain,
chimiste principal au Laboratoire central.

LA MÉTÉOROLOGIE EN FRANCE

Le Service des Avertissements agricoles au Ministère de l'Agriculture

PAR

M. Léon Dabat,
membre du Conseil.

Depuis la fin du XVIIIe siècle, divers physiciens avaient émis l'idée que les observations météorologiques pouvaient servir à la prévision du temps. Borda et Lavoisier, pensant que l'inégalité des variations barométriques aux divers lieux de la terre étaient liées aux changements de temps, proposèrent à l'Académie des Sciences de faire noter chaque jour les hauteurs barométriques en divers lieux et de les faire comparer. Cette idée ne fut pas suivie.

En 1854, Le Verrier, directeur de l'Observatoire de Paris, créa un service de prévision de tempêtes qui fonctionna à l'observatoire de Paris jusqu'en 1878, date à laquelle fut créé le Bureau central météorologique.

*
* *

Avant la guerre, trois départements ministériels : la Marine, l'Instruction publique et l'Agriculture avaient un service météorologique organisé et autonome.

Les phénomènes météorologiques jouent dans la vie maritime et dans les opérations navales un rôle très important. Il est, en effet, indispensable pour bien naviguer d'avoir une connaissance complète du régime météorologique des mers qu'on parcourt.

L'étude de l'atmosphère a toujours été nécessaire aux navigateurs; tous les marins ont des notions de prévision du temps et à l'École d'Application de la Marine les élèves suivent un cours de météorologie.

Chaque sémaphore, chaque navire de guerre ou de commerce possède l'outillage d'un observatoire météorologique. Les résultats de leurs observations, centralisés et dépouillés, forment une contribution très importante pour l'étude de l'atmosphère.

Le Service météorologique de la Marine collaborait de deux façons à la prévision du temps établie par le Bureau central météorologique :

1° En faisant des observations dans un grand nombre de ses sémaphores et de ses observatoires qui ont été choisis comme Stations météorologiques du réseau international. Ces observations étaient envoyées régulièrement par télégramme au Bureau central météorologique;

2° En assurant dans les ports militaires et dans les sémaphores l'exécution des signaux météorologiques.

Les fonctions du Bureau central météorologique, qui dépendait du Ministère de l'Instruction publique, étaient multiples :

1° *Service de la prévision du temps pour toute la France.* — Au moyen des résultats d'observations qui lui parvenaient télégraphiquement de près de 200 stations météorologiques d'Europe, d'Algérie, de Tunisie, des Açores, de Madère et de l'Islande, le Bureau central météorologique de France, rédigeait un bulletin reproduisant ces données et pointait sur les cartes géographiques les nombres représentant la pression, la variation de pression, la température, l'humidité, la direction et la force du vent, l'état du ciel.

L'étude de ces cartes, leur comparaison avec celle des jours précédents permettait d'établir des télégrammes indiquant le temps probable du lendemain. Les bulletins et les télégrammes donnant la prévision du temps étaient adressés à certaines administrations publiques et à des abonnés. Ils étaient principalement utilisés dans les ports de mer qui, en outre, étaient avertis directement par dépêches spéciales des craintes de gros temps.

2° *Service des observations, de la climatologie, des recherches théoriques et des études.* — Ce service avait pour but d'assurer le service des observations et de la climatologie, d'entreprendre des études concernant la météorologie pure et la physique du globe, d'étudier et de perfectionner les instruments météorologiques, d'en assurer le contrôle et la vérification.

3° *Service des liaisons avec l'étranger, et des publications.* — Il assurait les liaisons avec les services météorologiques de l'étranger; il établissait et publiait le bulletin météorologique journalier et les *Annales du Bureau central météorologique.*

En outre, le Bureau central météorologique servait d'intermédiaire

entre les Services météorologiques de divers Ministères et les constructeurs d'appareils de mesure pour des commandes de matériel.

Cette organisation qui remontait à 1878 se plaça rapidement, sous la haute direction de savants tels que Mascart et Angot, au premier rang parmi les établissements scientifiques français.

Par leur initiative, la France fut couverte d'un réseau de 200 observatoires et stations diverses où se font 3 observations journalières. Plusieurs milliers de stations entretenues par les soins des commissions météorologiques départementales servent à l'étude des orages et de la distribution des pluies.

Parmi les stations les plus importantes que le Bureau central météorologique a créées, on peut citer :

Les observatoires de Nantes, de Perpignan, du Pic-du-Midi, du Puy-de-Dôme et du Mont-Ventoux.

Il convient de citer, à part, l'observatoire du Val Joyeux qui est spécialisé dans l'étude du magnétisme terrestre, l'observatoire du Parc Saint-Maur, le plus remarquablement outillé, et dans lequel sont effectués des études et des travaux concernant la sismologie et l'électricité atmosphérique.

Pour nos agriculteurs, les bulletins et les télégrammes émanant du Bureau central météorologique étaient tout à fait insuffisants. Depuis longtemps, en effet, il était acquis que les prévisions météorologiques d'un caractère général — si utiles par exemple aux aviateurs — ne pouvaient être employées pratiquement par nos cultivateurs. Les conditions climatériques, en effet, varient d'une région à l'autre sous l'influence des causes locales, de sorte qu'une prévision générale établie à Paris ne pouvait suffire aux besoins précis, tout à fait locaux, des agriculteurs.

Par contre, la prévision locale du temps était susceptible de rendre des services appréciables à l'agriculture. Quels frais de main-d'œuvre peuvent être économisés, combien de récoltes peuvent être préservées si le cultivateur est informé à l'avance des périodes d'humidité, de sécheresse ou de froid, de l'opportunité de certains travaux agricoles, de la menace par exemple d'une gelée, du moment propice pour effectuer sans retard un sulfatage de la vigne.

C'est pour répondre à ces nécessités que la France, dont la richesse dépend si étroitement de la production agricole, a créé en 1911 le Service de la Météorologie agricole, devenu plus tard le Service des Avertissements agricoles et de Météorologie appliquée à l'Agriculture.

Il convient de signaler que des observatoires dus à l'initiative privée ont été créés. M. Teisserenc de Bort avait installé un important observatoire à Trappes, où il avait entrepris, avec ses propres ressources, des recherches

relatives à la haute atmosphère. Des ballons-sondes et des cerfs-volants emportant des appareils enregistreurs ont servi dans ce but avec grand succès.

*
* *

Pendant la guerre, pour répondre aux divers besoins de la défense nationale, différents services météorologiques furent créés près des Ministères de la Marine et de la Guerre. Le but de ces services était de donner les renseignements aux aviateurs, aux artilleurs, aux compagnies de gaz asphyxiants, aux marins, etc.

Avant les hostilités, quelques tentatives d'organisation météorologique avaient été entreprises : des lancers de ballons-pilotes, par exemple, furent exécutés lors des essais des cerfs-volants du colonel Sacconey, mais, pratiquement, il n'existait pas de service météorologique militaire. En janvier 1915, le Bureau central météorologique fut chargé de donner des renseignements d'ordre météorologique pour prévoir les incursions des zeppelins.

En mai 1915, l'émission allemande des gaz asphyxiants, motive la création des compagnies Z du génie, spécialement constituées pour les émissions gazeuses. Des postes météorologiques, dits postes Z, furent affectés à ces compagnies; les émissions de gaz nécessitent, en effet, la prévision du vent qui doit transporter la nappe gazeuse et des renseignements relatifs à l'humidité, la nocivité des gaz dépendant de ce facteur.

Des postes réservés à l'aviation furent aussi créés; par les sondages aérologiques exécutés à l'aide de ballons-pilotes, il leur était possible de fournir aux aviateurs la vitesse et la direction du vent jusqu'à 6.000 m d'altitude, de mesurer la hauteur des nuages et la transparence de l'atmosphère.

A mesure que l'artillerie augmentait la portée de ses canons, des corrections dues aux divers éléments atmosphériques étaient de plus en plus nécessaires. C'est ainsi que, dans la préparation d'un tir, il est tenu compte des corrections portant sur la température des poudres, la densité de l'air, la vitesse et la direction du vent. Les corrections dues au vent peuvent être considérables. Une batterie de 320 mm, sur voie ferrée, dans la Somme, eût tiré 2 km trop court si les corrections dues au vent n'avaient pas été faites. Chaque coup de 320 représente environ une dépense de 4.000 f et une batterie de 4 pièces tire en moyenne 30 coups par pièce sur un objectif. Le tir exécuté sur un objectif représenterait donc une dépense d'environ 500.000 f. Du seul point de vue pécuniaire, on voit sans peine l'utilité de ces corrections.

Les artilleurs ont été unanimes à reconnaître la nécessité des corrections dues aux éléments atmosphériques, et le général allemand von Pannewitz, commandant la II[e] armée, attribue la précision des tirs français à longue portée à l'utilisation des renseignements météorologiques.

C'est au lieutenant David, directeur de la Station régionale de Météorologie agricole de Montpellier, qu'est due l'organisation du Service météorologique aux armées qui se développa plus tard sous les ordres du lieutenant de vaisseau Rouch, du capitaine Sherechewsky, du colonel Delcambre et du général Bourgeois.

Le Service météorologique aux Armées était organisé de la façon suivante : une station centrale, qui se trouvait à Dugny, près Paris, servait d'organe de coordination et de centralisation des observations météorologiques et des sondages aérologiques. Il élaborait des avis de prévision du temps et de grains qui étaient transmis à la Réserve générale d'Aviation et aux différentes stations météorologiques des armées.

Il fut reconnu qu'une entente étroite était nécessaire pour assurer, pendant les hostilités, le meilleur rendement de tous les services météorologiques. Dans ce but, un comité d'action fut créé sous la présidence de M. Lacroix, membre de l'Institut. Il comportait les représentants des différentes administrations intéressées et fut chargé spécialement d'assurer la liaison entre les services météorologiques des divers ministères, de coordonner les travaux en vue de la défense nationale.

Après la cessation des hostilités, l'essor donné à l'aviation civile nécessite la création d'un service météorologique rattaché au Sous-Secrétariat d'État de la Navigation aérienne; la connaissance des conditions météorologiques est à la base de tout long voyage aérien; il est nécessaire, en effet, que l'aviateur soit renseigné sur la hauteur des nuages, la visibilité, la direction des courants aériens, sur les menaces d'intempérie, etc.

*
* *

Tous ces services divers appelaient une coordination car les études scientifiques risquaient d'être entreprises plusieurs fois, d'où perte de temps. De plus, la dispersion des crédits alloués aux divers services pouvait être une entrave à la réalisation de recherches coûteuses.

« Unir les efforts et les ressources de ces services aussi bien dans les « recherches scientifiques que dans le service des avertissements quotidiens, « supprimer les doubles emplois, créer les organes d'intérêt commun, « apporter dans les négociations avec l'étranger des vues simplifiées et

« coordonnées » telle est la mission de l'Office national météorologique qui fut créé par décret, en date du 23 novembre 1920.

Cet office, rattaché au Sous-Secrétariat d'État de l'Aéronautique et des Transports aériens (Ministère des Travaux publics), groupe les services météorologiques du Bureau central météorologique, de la Navigation aérienne, et les services centraux de la Météorologie militaire.

Il comprend un établissement central et des services régionaux. L'établissement central est chargé des recherches, de l'enseignement, des transmissions télégraphiques et radiotélégraphiques, du contrôle technique général. Les services régionaux doivent établir dans la métropole et outre-mer les prévisions pour l'aéronautique et la marine.

Les attributions de l'Office national météorologique sont les suivantes :

Recherches portant sur la météorologie générale et appliquée;

Prévision du temps;

Service d'avertissements des grains ;

Contrôle des instruments et du fonctionnement de stations et postes météorologiques en France et aux colonies;

Relations internationales avec les services météorologiques étrangers;

Transmissions météorologiques;

Climatologie.

Des conventions spéciales établies entre le Ministère des Travaux publics et chacun des Ministères de la Marine et de la Guerre règlent leurs rapports avec l'Office national météorologique.

* * *

Le service des Avertissements agricoles, qui relève du Ministère de l'Agriculture, a seul conservé son autonomie, ce qui était d'ailleurs logique, puisqu'il se borne à appliquer la physique et la météorologie à l'agriculture (1). Ce service, en effet, est un organisme complet, parfaitement défini et tout à fait spécialisé; il a été créé suivant un plan d'ensemble, en vue des applications pratiques des données de la physique et de la météorologie à l'agriculture.

L'objet de ce service est d'assurer le fonctionnement de stations régionales chargées de l'élaboration et de la diffusion d'avertissements pratiques permettant aux agriculteurs d'adapter certains de leurs travaux et de leurs méthodes de cultures aux nécessités résultant de la situation atmosphérique.

(1) Il a conservé une liaison avec cet office pour toutes les questions de météorologie générale présentant un intérêt commun.

Dans ce but, des études et des travaux de physique et de météorologie sont entrepris en vue de leur application à la biologie agricole, au génie rural et aux forêts.

Ces recherches portent, par exemple, sur la prévision des gelées, sur la fixation des dates opportunes des traitements anticryptogamiques ou insecticides de la vigne.

Des recherches relatives à l'électroculture, à la radioculture, à l'influence de l'électricité atmosphérique sur la végétation, ainsi que des travaux concernant le choix, en fonction des conditions locales du climat, des variétés de plantes de grandes cultures susceptibles d'un meilleur rendement sont entrepris par ce service.

L'étude systématique des facteurs du climat (températures extrêmes, hygrométrie, nivométrie) qui président à la distribution géographique des essences forestières susceptibles d'être utilisées pour les reboisements, présente une grande utilité pour l'Administration des Eaux et Forêts.

De même, les études de glaciologie, de nivométrie et de pluviométrie sont autant de précieux documents pour les services du Génie rural et de l'Hydraulique agricole, documents qui sont très utiles pour l'établissement des barrages-réservoirs en montagnes, l'aménagement des eaux pour les usages industriels et agricoles, les irrigations, le drainage, etc.

En ce qui concerne les recherches sur le développement des parasites animaux et végétaux, les travaux de MM. Capus, Prunet, Ravaz et Viala ont montré l'influence de la température et de l'humidité sur le déclanchement, la durée et l'intensité de ce développement.

Les travaux de M. Ravaz ont permis de déterminer une périodicité, pour la région de Montpellier, dans les durées d'incubation du mildiou de la vigne.

Ainsi, les travaux entrepris par les stations permettent l'application au moment propice, c'est-à-dire plusieurs jours avant la manifestation extérieure visible de la maladie cryptogamique, des traitements préventifs.

La défense des récoltes contre les intempéries, grêle et gelées printanières, est étudiée; les expériences sur les niagaras électriques dans les régions du Beaujolais et du Bordelais ont été contrôlées de très près; les tirs contre la grêle à l'aide du canon ou des fusées ont été suivis pendant plusieurs années.

Les études relatives aux gelées s'inspirent des travaux de Houdaille à Montpellier et de ceux du Service météorologique du Département de l'Agriculture aux États-Unis.

L'annonce des gelées de printemps aux États-Unis évite tous les ans aux agriculteurs des pertes considérables : toutes les gelées sont prédites avec

succès de 12 à 36 heures à l'avance. En 1911, les planteurs de cannes à sucre de la Louisiane ont été prévenus, 40 heures à l'avance, de l'arrivée d'une vague de froid.

Il est aussi possible de prévoir l'importance des récoltes; c'est ainsi que M. Saillard, professeur à l'École nationale des Industries agricoles de Douai et directeur du Laboratoire national des Fabricants de Sucre a établi une méthode permettant, en fonction des quantités d'eau de pluie tombée, des heures de soleil par semaine, des moyennes des températures maxima et minima de l'année, de prévoir l'importance de la récolte de betteraves et sa valeur en sucre.

Les États-Unis ont fait des efforts particulièrement importants en vue de faire bénéficier les agriculteurs des données de la météorologie. Voici ce que dit à ce sujet M. Dop, vice-président de l'Institut international d'Agriculture.

Dans ce pays, « le Ministère de l'Agriculture a organisé un système « spécial de renseignements agricoles et météorologiques dans les districts « où l'on cultive en grand le maïs, le froment, le coton, le tabac, la canne « à sucre et le riz. Des bulletins quotidiens contenant ces renseigne- « ments sont répandus à profusion par les moyens les plus rapides dans « les régions de production et dans les centres commerciaux importants. « Producteurs et consommateurs sont tenus au courant, non seulement de « l'état des cultures, mais aussi du temps probable dans les différents districts, « ce qui permet aux agriculteurs de prendre certaines mesures de protection. « On peut citer qu'à Saint-Louis, centre mondial du marché du coton, les « affaires ne commencent jamais à être traitées qu'après l'affichage du bul- « letin officiel publié par le Département de l'Agriculture indiquant l'état « des récoltes et le temps probable.

« Dans les régions où l'on se livre en grand à l'élevage des bovins, des « stations spéciales donnent des informations sur les pâturages. Ces infor- « mations sont surtout utilisées par les éleveurs et les marchands de bétail « pour la répartition des animaux dans les districts où la pâture est abon- « dante. Elles permettent également d'apprécier les conditions d'existence « des animaux et de prévoir les prix des marchés.

« Dans les régions arides des états des montagnes occidentales où l'on « emploie l'irrigation, il a été établi dans les grandes chaînes montagneuses, « un réseau d'observatoires destinés à mesurer les précipitations de neige « d'où dépend la provision d'eau pour l'irrigation des vallées pendant l'été. « En évaluant l'épaisseur de la couche de neige, la quantité d'eau qu'elle « peut fournir et la superficie des bassins des divers cours d'eau alimentés « par la fonte de ces neiges, il est possible de déterminer, avec une exacti-

« tude notable, la quantité d'eau qui sera disponible pour l'irrigation de « chaque district; les agriculteurs peuvent ainsi agrandir ou limiter la « superficie de leurs cultures irriguées selon la provision d'eau prévue, ou « même remplacer ces cultures par d'autres demandant une moindre quan- « tité d'eau, dans le cas où l'on prévoit qu'elle fera défaut. »

Organisation du Service des Avertissements agricoles et de Météorologie appliquée à l'Agriculture.

ORGANISATION GÉNÉRALE. — Ce Service comprend :

1° Un Comité technique;

2° Un Service central d'inspection à Paris;

3° Des Stations de recherches;

4° Des Stations régionales d'avertissements;

5° Des Postes météorologiques agricoles.

En outre, il utilise la collaboration de toutes organisations météorologiques relevant, à un titre quelconque, du Ministère de l'Agriculture (postes et stations des Forêts, de l'Hydraulique agricole, etc.). A cet effet, il assure au point de vue technique la direction, le fonctionnement et le contrôle de toutes ces organisations.

Comité technique. — Le Comité technique, nommé par le Ministre de l'Agriculture, groupe sous son autorité les plus hautes compétences agricoles, scientifiques et administratives sous la direction de M. Violle, membre de l'Institut. Il est chargé de donner son avis sur le programme des études à entreprendre dans les diverses régions, sur le mode d'organisation et de fonctionnement des stations et postes, ainsi que sur toutes les questions qui lui sont soumises par le Ministre.

Service central d'Inspection. — Il est chargé d'assurer l'organisation, la direction, le contrôle, tant au point de vue technique qu'au point de vue administratif, de l'ensemble du service; il coordonne les travaux des stations et des postes, il centralise les résultats de leurs observations et de leurs recherches en vue d'études d'ensemble dont le programme est fixé par le Ministre. Il assure la liaison avec les services similaires et la publication des travaux.

Stations de recherches de physique et de météorologie agricole. — Ces stations ont pour mission principale d'effectuer les études nécessaires au perfectionnement de certaines méthodes culturales à l'aide des travaux por-

tant sur les questions de physique et de météorologie agricoles : influence sur la végétation des diverses radiations solaires, de l'électricité atmosphérique, électroculture, etc.

De semblables recherches peuvent être confiées aux agents du Service et à des spécialistes qualifiés.

*
* *

A l'heure actuelle, le Service des Avertissements agricoles possède :

6 stations d'avertissements (Rennes, Dijon, Saint-Julien-en-Genevois, Montpellier, Cadillac et Condom).

Un observatoire d'altitude (le Mont-Aigoual).

Une station de Recherches de Physique et de Météorologie appliquées à l'Agriculture (Antibes).

Dès cette année, de nouvelles stations d'avertissements vont être créées dans les régions de Bordeaux et de Clermont-Ferrand.

Les travaux de ces stations sont subordonnés à la nature des cultures des diverses régions intéressées. A titre de renseignements, nous allons donner un aperçu succinct du fonctionnement de la Station régionale d'Avertissements agricoles de Montpellier.

La création de cette station remonte à 1898. Le 26 mars 1898, une forte gelée enleva dans quelques heures, au seul département de l'Hérault, plus de 3 millions d'hectolitres de vin. Ce désastre incita M. Houdaille, alors professeur de physique et de météorologie à l'École d'Agriculture de Montpellier, à organiser un service d'informations météorologiques et agricoles. En se basant sur les observations reçues du Bureau central météorologique concernant la situation atmosphérique à 7 h. dans quelques stations du réseau météorologique international, sur les observations faites à Montpellier et sur celles de l'Observatoire du Mont-Aigoual, M. Ravaz, directeur de l'École nationale d'Agriculture de Montpellier, alors professeur à l'École, était chargé de fournir les renseignements d'ordre viticole.

La station régionale de Montpellier fonctionne en liaison étroite avec les services de Viticulture et d'Entomologie de l'École nationale d'Agriculture.

Les premiers avertissements émis par les professeurs Houdaille et Ravaz concernaient : la prévision des gelées, l'opportunité des traitements à effectuer contre les maladies cryptogamiques. Ils comprenaient également des conseils sur l'exécution des principaux travaux du viticulteur.

La station est chargée de l'élaboration des avis locaux de prévision du temps adaptés à la région, de l'étude des questions météorologiques locales,

conformément aux indications précédemment données ainsi que des recherches de physique appliquée à l'agriculture; de l'élaboration au point de vue agricole des avertissements et des conseils culturaux.

La situation de la Station régionale de Montpellier est remarquable au point de vue météorologique et agricole; son personnel de choix et son matériel scientifique très moderne en font un établissement de premier ordre.

Les travaux entrepris sont : la prévision locale du temps, des recherches de physique appliquée à l'agriculture, des avertissements et des conseils culturaux et des études intéressant l'agronomie et la biologie agricole.

Pour permettre à la station d'avoir une documentation technique, 36 postes météorologiques ont été installés dans le département de l'Hérault. Ces postes communiquent journellement à la station de Montpellier les résultats de leurs observations qui ont trait à la température maxima, à la température minima, à la température pendant la pluie, à l'heure et à l'importance des chutes de pluie et à toutes les questions intéressant le développement de la vigne et de ses parasites.

Les radiotélégrammes reçus à la Station et représentant les situations météorologiques des villes du réseau météorologique européen à 7 h., 13 h. et 18 h. permettent l'établissement de cartes météorologiques : en joignant à ces renseignements ceux d'ordre local, il est possible d'établir une prévision du temps pour les 24 heures. Les renseignements émanant des postes météorologiques permettent de se rendre compte de la situation biologique de la région.

Ces renseignements permettent au directeur de la Station de prévoir l'allure du développement du mildiou et de donner des instructions aux populations intéressées.

Les travaux de M. Ravaz ont permis, dans la région de Montpellier, de prévoir les attaques et les invasions du mildiou. M. Ravaz a, en effet, déterminé que la durée des trois phases qui représentent l'évolution complète d'une génération estivale du parasite dans la région de Montpellier et dans les conditions ordinaires de culture est constante et égale à 7 jours.

Cette constance a permis à M. Ravaz de prévoir et d'annoncer en temps utile depuis 1917, 7 jours à l'avance, la date d'apparition de toutes les invasions du mildiou. En traitant les vignes au cuivre au moment où l'invasion va apparaître, on les met pendant plusieurs jours à l'abri des attaques des germes de l'invasion.

D'autres études sont faites en vue de protéger les récoltes contre les insectes. Des renseignements de cette nature ont permis, en évitant des

frais d'ébouillantage qui, en ce moment, dépassent 200 f à l'hectare, d'économiser des sommes importantes.

Des études ont été entreprises, en 1919, à la Station régionale d'Avertissements agricoles de Montpellier en vue de l'utilisation des engins fumigènes Berger pour la défense des récoltes contre les gelées printanières.

Ces engins, provenant de la liquidation des stocks, avaient été utilisés pendant la guerre pour masquer les navires et les mouvements de troupes aux vues de l'ennemi.

Ces études ont permis de confirmer le fait déjà connu que les fumées produites par ces appareils n'étaient nocives ni pour les animaux, ni pour les plantes. Au cours d'une épreuve, on a pu constater que les fumées ont retardé le refroidissement de l'atmosphère au voisinage du sol.

En 1920, l'Administration de l'Agriculture a pu acquérir, pour les céder, à titre gratuit, aux syndicats, la totalité du stock d'engins Berger qui avaient été mis à la disposition du Sous-Secrétaire d'État aux Finances par M. le Ministre de la Guerre.

Des essais ont été entrepris sur tout le territoire français, et, quoique tous les résultats ne soient pas encore connus, on peut espérer qu'il est possible d'utiliser efficacement ces engins contre les gelées printanières.

Les avertissements de la Station de Montpellier sont transmis aux abonnés : communes, associations agricoles, agriculteurs, etc., par télégramme ou par téléphone. D'autres moyens tels que signaux sonores et signaux optiques, la T. S. F. ou la téléphonie sans fil pourront être utilisés.

Chaque jour, vers 16 h., la Station transmet à ses abonnés un télégramme chiffré comportant :

a) Des informations d'ordre agricole ou viticole relatives à l'apparition des maladies cryptogamiques ou des parasites animaux; à l'opportunité de différents travaux ou soins culturaux;

b) Des renseignements météorologiques sur les phénomènes exceptionnels qui se sont produits dans la région ou dont la connaissance présente de l'intérêt pour l'agriculteur ou le viticulteur;

c) Des renseignements concernant les températures maxima et minima, la pluie, le vent, l'état du ciel à 14 h., etc., à Montpellier;

d) Certains renseignements météorologiques de l'Observatoire du Mont-Aigoual;

e) Un avis de prévision locale du temps valable pour 24 heures.

Résultats obtenus. — La Station d'Avertissements de Montpellier a pu faire connaître en 1918, et très à l'avance, aux viticulteurs de l'Hérault, la date précise de chaque invasion de mildiou, son importance ou sa gravité,

la date des traitements les plus efficaces, l'époque à laquelle les sulfatages pouvaient être ralentis ou supprimés.

En 1919, M. Ravaz a pu déconseiller avec succès les sulfatages, et les économies en sulfate de cuivre ont été d'une importance considérable.

Ces résultats ont été portés à la connaissance de l'Académie d'Agriculture qui, dans sa séance du 26 novembre 1919, a manifesté tout l'intérêt qu'elle attachait à l'institution de stations semblables et a exprimé le désir que, dans toutes les régions de la France, on établisse des stations analogues appropriées aux cultures locales.

TRAVAUX DE LA COMMISSION D'UTILISATION DU COMBUSTIBLE (1)

Ministère des Travaux publics.

Quatrième Rapport (2).

Il est de vérité banale que, pour subvenir avec un minimum de consommation de combustible aux besoins d'une distribution de force et de lumière, un moyen dont l'efficacité s'affirme de plus en plus et qui ouvre un vaste champ au progrès est la concentration de la production de l'énergie dans de puissantes usines centrales, alimentant chacune un réseau étendu, grâce aux facilités du transport de la puissance électrique par courants à haute tension. Plus grandes sont les unités génératrices, plus leur rendement s'élève et plus il est facile et avantageux de leur adjoindre des dispositifs perfectionnés. Plus les besoins desservis par chaque centrale sont nombreux et variés, meilleurs sont les coefficients d'utilisation de l'usine et des grandes artères du réseau.

On va même plus loin maintenant. On envisage des unions de réseaux, des superréseaux, alimentés chacun par plusieurs centrales de même espèce ou d'espèce différente, thermiques ou hydrauliques, susceptibles de se prêter un mutuel concours. Il n'est pas besoin d'insister sur l'intérêt des organisations de ce genre ni sur leurs avantages économiques, en particulier à cause de l'augmentation des coefficients d'utilisation.

Nous n'avons pas à nous occuper des centrales hydrauliques, sinon pour constater que, produisant l'énergie sans aucune consommation de combustible, elles représentent, du point de vue où nous sommes placés, la solution idéale. Pour épargner le charbon, rien de tel que l'utilisation des chutes d'eau ou des marées.

Passons aux centrales thermiques. Beaucoup sont à vapeur, avec chaudières chauffées généralement à la houille. D'autres emploient des machines à gaz : c'est la solution qui convient dans les établissements métallurgiques pour utiliser les gaz de hauts fourneaux ou de fours à coke. Les moteurs à combustion interne, Diesel ou autres, brûlant diverses huiles, fournissent en principe une troisième solution, mais dont les possibilités de développement sont liées aux circonstances du marché de ces combustibles liquides.

Le rapport ci-après, présenté par la première sous-commission, traite des centrales à vapeur.

Le rapporteur, M. E. Rauber, en décrit la technique actuelle. Il montre quelle prompte évolution cette technique a subie et par quel ensemble de dispositions et de soins l'on s'attache, dans une grande centrale moderne, à réduire les pertes de rendement.

Ce n'est pas tout. M. Rauber a, sur la suite future de cette évolution, des idées larges et hardies dont il nous fait part.

C'est ainsi qu'il envisage, pour l'avenir, l'emploi de pressions encore inusitées dans

(1) *Journal officiel* du 14 août 1921.

(2) Voir les trois premiers rapports dans les *Bulletins* de : janvier 1921, p. 124 à 137; — mars 1921, p. 286 à 301; — mai 1921, p. 476 à 507.

le domaine de la machine à vapeur. L'expérience, aux leçons de laquelle il faudra être attentif, montrera jusqu'où les difficultés de construction et l'intérêt primordial de la sécurité permettront de s'avancer dans cette voie.

D'autre part, l'étude de M. Rauber fait ressortir l'utilité d'un ensemble complet et bien coordonné de mesures propres à accroître les rendements et à réduire les pertes jusqu'à l'extrême limite du possible.

Au nombre des procédés susceptibles de prendre utilement place dans cet ensemble, il préconise en particulier le réchauffage méthodique de l'eau d'alimentation par de la vapeur prélevée à divers étages des turbines.

Ce mode de réchauffage, réalisé sous la forme simple mais nécessairement imparfaite d'un prélèvement unique de vapeur, a été appliqué autrefois à des machines alternatives marines, pour lesquelles on cherchait un moyen de réchauffage autre que l'interposition d'économiseurs sur le trajet des fumées, jugée difficile à bord. « On échauffe l'eau avant son entrée dans la chaudière, écrivait M. Édouard Sauvage en 1890 (1), à l'aide de vapeur ayant déjà accompli un certain travail dans le moteur, soit qu'on l'emprunte au réservoir d'une machine à triple expansion, comme l'a fait Weir, soit qu'on la prenne dans le cylindre à basse pression d'une compound quand le piston a parcouru la moitié environ de sa course, comme l'a fait A. Normand pour les machines du torpilleur *Avant-Garde.* »

La vapeur du prélèvement ne produit pas, dans la machine, autant de travail que si elle continuait à se détendre jusqu'à la pression du condenseur, mais la chaleur qu'elle restitue à ce qui lui sert de condenseur particulier n'est pas perdue comme dans l'autre cas; cette chaleur est au contraire utilisée et, au point de vue du rendement global, ce service additionnel qu'on obtient de la vapeur prélevée fait plus que racheter l'infériorité du coefficient économique du cycle qu'elle décrit.

Pour tirer de ce mode de réchauffage toute l'économie qu'il est théoriquement susceptible de procurer, il faudrait supprimer toute irréversibilité en chauffant l'eau successivement au moyen d'un nombre infini de prélèvements élémentaires.

On aboutirait à la limite, pour l'ensemble de la turbine ainsi complétée et supposée parfaite, à un rendement théorique égal au coefficient économique du cycle de Carnot.

C'est d'une manière analogue que, dans les anciennes études relatives à la machine à air chaud, la conception de récupérateurs de chaleur, à des températures intermédiaires entre la source chaude et la source froide, conduisait théoriquement aux cycles de Stirling et d'Ericsson équivalents à celui de Carnot.

Mais il ne faudrait pas que ce souvenir fût une cause de défiance à l'égard du réchauffage d'eau préconisé par M. Rauber. La machine à air chaud a échoué par suite d'énormes imperfections d'ordre pratique; dans le domaine de la machine à vapeur, le terrain est tout différent.

Dans l'application du système des prélèvements de vapeur, on sera naturellement toujours limité quant au nombre des prélèvements étagés; mais on le sera beaucoup moins avec une turbine qu'avec une machine alternative, et cette remarque suffit à mettre en évidence l'intérêt tout nouveau que présente la question sous le jour où nous la montre aujourd'hui M. Rauber.

Il va sans dire d'ailleurs que, pour ne pas être exposé à perdre d'un côté ce qu'on gagnerait de l'autre, l'adoption de ce procédé suppose que la chaleur sensible des fumées provenant des chaudières, n'ayant plus à servir au réchauffage de l'eau d'alimentation, soit utilisée autrement, par exemple pour chauffer l'air comburant. C'est pour l'ensemble complet des appareils évaporatoires et moteurs qu'il faut dresser le bilan des calories,

(1) *Revue de l'état de la construction des machines* (*Annales des Mines*, 8e série, t. XVII, p. 432).

sans oublier que les divers éléments du compte peuvent réagir les uns sur les autres et sans en omettre aucun, si l'on veut, comme c'est aujourd'hui nécessaire, porter au maximum l'utilisation de l'énergie potentielle du charbon.

Le vice-président de la Commission.
WALCKENAER.

Le secrétaire,
LANCRENON.

La technique actuelle des centrales à vapeur.

RAPPORT DE LA 1re SOUS-COMMISSION.

Un des faits saillants de l'histoire de la fin du XIXe siècle fut certainement la découverte et le développement des applications industrielles des courants électriques. Rapidement, la « fée Électricité » distança tous les autres modes de transport de la force à distance, et il fallut créer, dans les régions qui n'étaient pas favorisées par la houille blanche, l'organe nécessaire à la satisfaction des besoins nouveaux. Ce fut la centrale à vapeur.

Il est, semble-t-il, peu d'exemples dans l'industrie d'une évolution aussi rapide que celle de la technique des centrales. Les dispositions générales, la puissance du matériel, l'importance des usines, toutes les caractéristiques ont varié énormément. La guerre ne semble pas avoir ralenti cette évolution, bien au contraire. Le bouleversement économique qui en a été la conséquence pousse au perfectionnement du matériel des centrales pour améliorer leur rendement thermique. D'autre part, on tend à concentrer les moyens de production pour mieux utiliser la matière et le combustible par l'emploi d'unités puissantes, d'où la naissance des usines appelées quelquefois « supercentrales ».

La recherche constante d'une utilisation meilleure du pouvoir calorifique du charbon constitue une des raisons essentielles de cette évolution rapide, le prix du combustible constituant généralement l'élément le plus important du coût de l'énergie électrique produite. La commission ne pouvait manquer de s'intéresser à un tel problème et le présent rapport a pour but d'exposer l'état actuel de la technique des centrales à vapeur. Les conclusions de ce rapport, en raison même de l'évolution qui se poursuit, n'auront bien entendu qu'une valeur temporaire. Il ne nous a pas paru déplacé de donner dans quelques cas une appréciation sur les progrès encore possibles.

Pour la clarté de l'exposition, nous avons divisé le rapport en deux parties. La première a trait à des considérations générales concernant les centrales à vapeur. La deuxième partie, divisée en plusieurs chapitres, donne des détails sur les solutions et le matériel employés.

I. — Caractéristiques générales des centrales à vapeur.

Prise dans son entière généralité, l'expression de centrale à vapeur désigne toute usine à vapeur alimentant une distribution d'énergie, quelle que soit la forme de l'énergie distribuée. C'est ainsi qu'il existe, pour certaines applications, des centrales à vapeur produisant, non de l'électricité, mais de l'air comprimé. Toutefois, c'est l'électricité qui fournit la solution de beaucoup la plus générale et qui se prête le mieux à une concentration importante de la puissance motrice. Nous aurons donc spécialement en vue, dans ce rapport, les centrales productrices d'électricité, encore que la plupart de nos conclusions puissent s'appliquer à toute centrale à vapeur.

D'autre part, nous admettrons que le combustible employé est le charbon. En effet, dans les cas spéciaux où l'on dispose, soit d'un combustible gazeux (gaz de haut fourneau ou gaz de fours à coke), soit d'un combustible liquide (mazout), il est plus rationnel et plus économique d'employer directement ces combustibles dans des moteurs à combustion interne plutôt que de les brûler sous des chaudières pour faire de la vapeur. Le présent rapport n'ayant trait qu'aux centrales à vapeur, nous ne mentionnerons donc que pour mémoire les combustibles gazeux ou liquides.

Cela posé, l'industrie qui nous occupe est en principe extrêmement simple. Une seule matière première, le charbon. Un seul produit fabriqué, l'énergie électrique. Cette simplicité a permis aux techniciens de porter tous leurs efforts vers l'économie de la matière première, devenue si précieuse aujourd'hui. Il y a là sans doute une des causes de la rapidité d'évolution signalée plus haut. Les centrales vieillissent rapidement par suite des progrès de l'art et, au bout de douze ou quinze ans, leur matériel est démodé et n'est plus bon qu'à démonter ou à garder en réserve.

Il est donc nécessaire d'amortir rapidement ces usines, ce qui est d'autant plus malaisé, en particulier depuis la guerre, que le matériel des centrales est maintenant à un prix très élevé et que le loyer de l'argent est cher.

Le prix d'installation et le prix de revient de l'énergie produite dépendent énormément de l'importance absolue de la centrale. Voici quelques chiffres qui permettent d'en juger.

Si l'on compare les cas, sinon extrêmes, du moins très éloignés, de deux centrales, l'une de 100.000 kW de puissance, l'autre de 1.000 kW, on peut faire les rapprochements suivants :

1° Les prix d'installation par kilowatt sont dans le rapport de 1 à 4 environ (actuellement 800 à 900 f, contre 3.000 à 3.500 f par kilowatt) ;

2° Les consommations de charbon par kilowatt-heure net, à conditions d'installation et de marche égales, sont à peu près dans le rapport de 1 à 2 (1 kg contre 2 kg de charbon par kilowatt-heure net) ;

3° Les autres dépenses d'exploitation sont dans le rapport de 1 à 6 ;

4° Les prix de revient du kilowatt-heure net sont dans le rapport de 1 à 3 environ, en tenant compte des charges financières.

D'après cela, il est essentiel de ne décider la création d'une centrale qu'après un sérieux examen. On doit rechercher notamment si les besoins d'électricité auxquels il s'agit de pourvoir ne pourraient recevoir plus économiquement satisfaction en prenant le courant sur un secteur déjà existant. Ce point de vue mériterait d'autant plus d'attention que l'installation projetée serait de moindre puissance.

La grande facilité qui résulte pour l'industriel d'être déchargé du souci de produire sa force motrice a d'ailleurs, indépendamment des considérations qui précèdent, beaucoup favorisé, principalement depuis la guerre, les abonnements aux secteurs électriques pour la fourniture de la force motrice.

L'installation d'une centrale à vapeur étant décidée, on aura toujours intérêt, pour son étude, à faire appel à des spécialistes et on déterminera les grandes lignes du projet en s'appuyant sur les considérations qui vont suivre.

Emplacement. — Distance aux divers centres, actuels ou futurs, de consommation d'énergie ;

Proximité d'un cours d'eau permettant le service des condensations. Il y a, en effet, un grand intérêt, au point de vue dépense d'installation et économie de fonctionnement, à se passer de réfrigérants;

Possibilité d'alimentation de l'usine en combustible, simultanément par voie d'eau et par voie de fer, ou par l'un des deux moyens tout au moins ;

Quelquefois, proximité d'une mine disposant de combustibles inférieurs qui ne sup-

porteraient pas les frais d'un transport lointain. C'est le cas de certaines mines de lignites allemands ou de quelques mines françaises de houille ou d'anthracite;

Nécessité de se mettre à l'abri des crues.

Manutention et stockage du charbon. — Le type des appareils et la disposition à adopter dépendent essentiellement des cas particuliers, notamment du terrain, du tonnage envisagé, etc. Voici cependant quelques règles générales qu'il sera bon d'observer :

Réduire au minimum les manipulations qui donnent lieu à la formation de fines;

Prévoir la possibilité d'emploi de qualités très diverses de charbon pour donner le maximum de souplesse à la centrale;

Prévoir le concassage et le broyage du gros après criblage préalable;

Prévoir des appareils aussi souples que possible pour faire de bons mélanges de charbons de qualité différente;

Se réserver la possibilité de stocker, en général, la valeur de un à deux mois de marche;

Prendre des précautions contre la combustion spontanée du charbon. Parmi ces précautions, les meilleures paraissent être le stockage dans l'eau de la base des tas, l'établissement de tuyaux permettant un noyage éventuel et, enfin, une grande facilité de reprendre le stock;

Organiser, de préférence au moyen d'appareils automatiques, le pesage du combustible;

Prévoir, dans les cas où ce sera possible, et surtout s'il doit être fait usage de grilles mécaniques, un classement du combustible par grosseur. Ce classement, encore peu pratiqué, donnerait certainement des résultats intéressants.

La question a été souvent agitée de savoir s'il y a intérêt à couvrir les parcs à combustible pour les préserver de la pluie. Si l'on se place au point de vue des calories, il y a un léger avantage. Par contre, au point de vue pécuniaire et étant donnée la hauteur moyenne des pluies qui tombent dans nos régions, il y a nettement avantage à stocker le charbon en terrain découvert sur une certaine hauteur.

Service d'eau. — Dans les cas où l'on dispose d'eau de rivière abondante, il n'y a pas lieu de prévoir de réfrigérants pour l'eau de condensation.

Le système généralement préféré est la liaison de l'usine à la rivière par galeries noyées, tant pour l'aller que pour le retour, l'évacuation étant conduite assez loin de l'entrée d'eau pour éviter le mélange de l'eau chaude à l'eau froide.

Les règles suivantes sont, en outre, à recommander :

Ne pas craindre de donner une assez grande vitesse à l'eau dans les conduites, pour éviter les dépôts;

Pour diminuer le travail des pompes, travailler par siphonnement au niveau de la rivière;

Organiser une filtration préalable de l'eau de circulation aussi complète que possible, lorsqu'on n'a pas affaire à une eau très propre;

Si l'on est obligé d'employer des réfrigérants, il faut en passer par les inconvénients de ce procédé qui consomme plus de force motrice et donne un vide moins bon aux condenseurs, d'où consommation plus élevée de combustible.

Chaufferies. — On admet actuellement une seule chaufferie par centrale quelle que soit son importance. Cette chaufferie, qui peut d'ailleurs être divisée en éléments, est placée d'un seul côté de la salle des machines.

Ses dimensions sont choisies de façon à correspondre en longueur à celle de la salle des machines. Elle lui est immédiatement contiguë.

D'une façon générale, on prend comme sous-sol des chaufferies modernes le sol naturel et on surélève les chaudières de la quantité nécessaire.

Il existe actuellement en Amérique, et on commence à construire en France, des chaudières extrêmement puissantes allant jusqu'à 2.000 m^2 de surface de chauffe et produisant 60.000 à 80.000 kg de vapeur à l'heure.

Il est donc possible de choisir le nombre des chaudières d'une centrale entre des limites assez rapprochées, ce qui permet de faciliter l'exploitation et de réduire les dimensions des chaufferies, même de très grande puissance.

On prendra comme nombre minimum de chaudières trois à quatre et comme maximum quinze à vingt.

Du fait de cette grande élasticité dans la puissance des types de chaudières, la disposition encore récemment adoptée des files de chaudières perpendiculaires à la salle des machines a perdu beaucoup de son importance.

Le nombre des chaudières en réserve généralement admis est de 25 à 35 p. 100.

On prévoit ordinairement des silos de réserve de charbon en charge sur les chaudières.

On doit s'attacher, dans un projet de chaufferie, à réduire l'encombrement horizontal pour diminuer les longueurs de tuyauteries et les pertes par rayonnement. Dans ce but, on place souvent l'un au-dessus de l'autre les faisceaux tubulaires échangeurs d'une même unité (chaudières, économiseurs, réchauffeurs d'air).

Salle des machines. — La salle des machines comprend généralement une seule nef avec un ou deux ponts roulants permettant le démontage rapide du matériel. Elle doit être autant que possible contiguë à la chaufferie.

Sauf cas exceptionnels et à moins qu'il ne s'agisse d'unités de faible puissance, la préférence est aujourd'hui donnée aux turbines sur les machines alternatives.

Il y a avantage à placer les groupes turbo-générateurs perpendiculairement à la longueur de la salle des machines.

Si rien ne s'y oppose, il convient de placer la salle des machines au-dessus des galeries d'eau de condensation pour réduire au minimum la longueur des tuyauteries, le sous-sol de la salle étant placé au niveau voulu pour permettre le siphonnement direct de la conduite d'amenée à la conduite d'évacuation à travers les condenseurs.

Avec les turbines, on doit toujours choisir la condensation par surface, qui permet d'obtenir un meilleur vide et est toujours économique.

On construit actuellement des groupes turbo-alternateurs de très grandes dimensions. Les puissances atteintes jusqu'ici sont de 35.000 kW en France et vont jusqu'à 70.000 kW à l'étranger, la turbine étant divisée en plusieurs corps.

On peut donc choisir à peu près arbitrairement le nombre de groupes d'une centrale quelle que soit son importance. Le minimum sera de deux à trois groupes, le maximum pratique est de sept à huit groupes pour ne pas compliquer trop l'exploitation.

Dans le choix des unités, on devra faire intervenir le régime de faible charge (nuits et jours fériés) qui a souvent une grande importance.

On admet quelquefois le principe de groupes de puissances différentes pour pouvoir suivre mieux le régime de charge du réseau. Il semble toutefois qu'on ait avantage à partir de quatre unités, à avoir des groupes de puissance uniforme.

Le nombre de groupes de réserve admis varie suivant les centrales de 25 à 50 p. 100.

Les turbines actionnent directement les génératrices (alternateurs ou dynamos). Les excitatrices des alternateurs sont placées en bout d'arbre.

Pour les courants alternatifs, on admet la distribution directe à la tension des génératrices jusqu'au maximum de 15.000 V, chiffre déjà élevé pour la technique actuelle de la construction des alternateurs. Si l'on fait de la distribution à tension plus élevée, on a avantage à adopter une tension plus réduite aux génératrices et à passer ensuite à la tension de distribution par des transformateurs statiques. Mais il est possible que de nouveaux progrès dans la construction des alternateurs permettent dans l'avenir la génération directe à des tensions plus élevées.

Tableaux de distribution. — Le choix de la nature des courants, de leur fréquence et de la tension de distribution est déterminé non seulement d'après l'emploi de l'énergie et l'étendue de la distribution, mais aussi d'après les constantes des distributions voisines déjà existantes.

On fera toujours utilement des efforts dans le sens de la standardisation ou de l'unification et on y aura presque toujours intérêt. On rencontrera plus de facilité dans l'achat du matériel et on ménagera davantage l'avenir.

Le choix de la fréquence a en particulier une importance capitale, car il est de nature à permettre ultérieurement la liaison avec d'autres usines au moyen de simples transformateurs statiques. Les associations entre usines génératrices peuvent prendre, dans certains cas, en ce qui concerne les économies de charbon, une grande importance. Il importe en particulier de prendre en considération la possibilité de liaison avec des usines hydrauliques ou avec des centrales thermiques plus modernes et plus économiques.

En France, on tend de plus en plus à adopter la fréquence 50 pour les courants alternatifs.

Utilisation de la centrale. — Dans l'établissement d'une centrale comme en exploitation, on doit tenir le plus grand compte du facteur utilisateur de l'usine. On appelle ainsi le nombre d'heures durant lesquelles, au cours d'une année, elle devrait marcher à la plus grande puissance réalisée, pour produire le même nombre de kilowatts-heures que dans le fonctionnement réel.

L'utilisation maximum théorique est de 8.760 heures. Pratiquement, sauf cas spéciaux à certaines industries, l'utilisation d'une centrale dépasse rarement 3.000 heures. C'est dire, si l'on admet une réserve d'un tiers dans le matériel, que la puissance nominale de la centrale est utilisée pendant environ 2.000 heures par an.

Une faible utilisation pèse lourdement sur le prix de revient de l'énergie : d'une part, la charge de capital en est augmentée, d'autre part, la consommation de combustible est plus forte et cela d'autant plus que le régime est plus variable.

A titre d'exemple, voici quelques chiffres concernant la charge d'une centrale de 50.000 kW de la région de Paris.

Pour une journée d'hiver :

De 0 à 6 h.	4.000 kW
De 7 à 11 h.	27.000 —
De 12 à 13 h.	11.000 —
De 14 à 16 h.	28.000 —
De 16 à 18 h.	35.000 —

Après 18 h., charge décroissante jusqu'à 4.000 kW, à 24 h.

Énergie produite, 370.000 kWh dans les 24 heures.

On voit combien ces chiffres sont variables d'un moment à l'autre de la journée. Un graphique traduirait ces variations d'une façon saisissante.

Cette usine a une utilisation de 2.420 heures par rapport à son maximum et de 1.700 heures seulement par rapport à son matériel installé.

Parmi les moyens d'améliorer l'utilisation des centrales thermiques, on peut citer :

La marche en parallèle avec des usines hydrauliques à réservoirs d'eau pouvant suivre les fluctuations de la charge;

La fourniture d'énergie pendant les heures creuses à certaines industries (électrochimie par exemple) ou pour le chauffage électrique.

Les secteurs pratiquent depuis longtemps, pour la vente de l'énergie, des formules binomes qui favorisent les clients ayant une bonne utilisation. Certains étudient des tarifs du même genre pour le chauffage à certaines heures.

La dépense de charbon constituant le principal élément du prix de revient de l'énergie d'une centrale, on sera nécessairement conduit, dans le choix entre les différentes solutions qui se présenteront, à attribuer la plus grande importance au rendement thermique des appareils ou des dispositions à adopter. On ne sera limité dans cette voie que par la considération de la dépense de premier établissement.

Il y aura lieu de ne pas perdre de vue, dans cet ordre d'idées, que la valeur d'une calorie n'est pas la même en tous les points du circuit des calories dans la centrale.

Pour transformer l'énergie latente contenue dans le combustible en énergie électrique, il faut, en effet, passer par plusieurs stades intermédiaires : gaz de combustion, vapeur, énergie mécanique. A chacun de ces passages, il y a déchet de calories, parfois très important puisque le rendement thermique final est de l'ordre de 10 à 12 p. 100. De plus, il y a, pour chacune de ces transformations, dépense de production et charges financières, de sorte que le prix de la calorie augmente au fur et à mesure qu'on se rapproche du stade final.

C'est ainsi que si l'on considère une centrale de 50.000 kW, on peut attribuer les valeurs relatives suivantes à une calorie en différents points du circuit :

A l'arrivée du charbon	1,0
A l'entrée des grilles	1,1
Dans la vapeur sortant des chaudières.	2,3
Aux bornes des génératrices électriques.	19,5

Ce calcul est fait en admettant : un prix de 100 f la tonne comme valeur du charbon à 7.000 calories, un rendement de 80 p. 100 pour les chaudières et en supposant qu'il est fait usage de bonnes turbines à vapeur.

On voit l'intérêt croissant qu'il y a à récupérer les calories tout le long du circuit et, en dernier lieu, à réduire au minimum la consommation d'énergie exigée par le fonctionnement de la centrale.

II. — Solutions et matériel employés.

Nous indiquons ci-après les solutions auxquelles se rallient généralement les techniciens dans la réalisation des centrales actuelles. Nous nous limitons d'ailleurs aux points dont dépend plus directement l'économie de combustible.

A. Type de chaudières. — Une chaufferie doit toujours comporter une certaine élasticité dans la production de la vapeur pour répondre aux variations de la demande d'énergie.

Pour réaliser cette élasticité, on recherchait autrefois des chaudières à grand volume d'eau, la masse liquide à haute température constituant un réservoir important de calories qui pouvaient être rapidement rendues disponibles à l'état de vapeur.

Depuis quelques années, on a une autre conception de l'élasticité dans les chaufferies. On la trouve, au contraire, dans l'emploi de chaudières à volume réduit, à forte vaporisation par mètre carré de surface de chauffe, ces chaudières étant susceptibles de subir rapidement des variations d'allure, moyennant, bien entendu, que la chaleur nécessaire soit fournie par le foyer. C'est donc celui-ci qui doit avoir la souplesse appropriée, et c'est dans le charbon même (qu'il soit en ignition dans le foyer ou à introduire sur la grille) qu'on trouvera la réserve d'énergie.

Il est à noter que l'élasticité de production est souvent plus nécessaire encore aux centrales travaillant sur des distributions publiques d'électricité qu'à celles qui sont affectées à des industries particulières.

Les chaudières généralement employées dans les centrales qui alimentent des distributions publiques appartiennent à la classe des chaudières à tubes d'eau. Ces chaudières sont susceptibles d'avoir la souplesse requise. En outre, elles se prêtent à l'emploi des pressions élevées dont nous ferons ci-après ressortir les avantages.

Il existe un grand nombre de types de chaudières à tubes d'eau. Il n'est pas question ici de recommander l'un ou l'autre. Le choix dépendra des considérations particulières à chaque cas. On devra toujours, autant que possible, donner la préférence à des types ayant fait leurs preuves comme conception, comme soin de construction et comme sécurité de fonctionnement.

B. Pression. — Depuis qu'il s'est créé une technique des centrales à vapeur, on a vu le timbre des chaudières s'élever peu à peu. De 10 à 12 kg : cm², la pression employée était passée avant la guerre à 16 ou 17 kg : cm².

On peut trouver que la progression de ce côté a été plutôt lente, en regard de la rapidité d'évolution des autres constantes; mais, précisément, l'augmentation de la puissance des appareils imposait une certaine prudence relativement au timbre, et les constructeurs de turbines rencontraient, eux aussi, certaines difficultés. La même prudence était d'ailleurs observée à l'étranger.

Or, depuis la guerre, la nécessité d'économiser le charbon, notamment dans notre pays déficitaire, s'est fait sentir plus que jamais. On peut penser que l'évolution vers les solutions économiques se fera plus rapide, et l'élévation du timbre paraît être, à ce point de vue, un des facteurs les plus importants, car le rendement économique d'une installation augmente nettement avec la pression de travail, toutes choses égales d'ailleurs.

Si l'on considère de la vapeur à différentes pressions, mais à la même température de surchauffe (350°), travaillant dans une machine parfaite suivant le cycle de Rankine et sous un même vide (97 p. 100), on arrive aux rendements thermiques théoriques suivants :

Pression absolue.	Température d'ébullition (degrés centigr.).	Rendement théorique R.	Augmentation p. 100 par rapport à R_{10}.
10 kg : cm²	179°,1	R_{10} = 0,323	0
12 —	187 ,1	0,332	2,8
15 —	197 ,4	0,341	5,6
18 —	206 ,2	0,351	8,7
21 —	213 ,9	0,356	10,2
25 —	223 ,0	0,363	12,4

Voici les mêmes renseignements jusqu'à la pression de 50 kg : cm² :

30 kg : cm²	232°,9	0,371	14,9
40 —	243 ,4	0,381	17,9
50 —	262 ,8	0,390	20,7

Ces augmentations appréciables du rendement thermique méritent d'être considérées. A une pression plus élevée correspond, bien entendu, ainsi que le montre le tableau qui précède, une température d'ébullition plus élevée. Les gaz de combustion auront donc tendance à être plus chauds au sortir des chaudières, et il faudra y parer par une augmentation relative des récupérateurs de chaleur placés en queue des chaudières. Ce supplément d'installation payera toujours et l'objection, qui est une des principales faites à l'emploi des hautes pressions, tombe d'elle-même

Notons que l'emploi des hautes pressions permet d'augmenter, à fatigue égale du métal, le taux de vaporisation par mètre carré de surface de chauffe de la chaudière.

Ce résultat est obtenu pour deux raisons :

D'une part, le volume spécifique de la vapeur formée est moindre. Pour un même poids de vapeur produite dans l'unité de temps, la variation de volume nécessitée par la vaporisation est moins considérable, l'ébullition est moins tumultueuse et la vapeur tend

moins à engorger les tubes. Les surfaces métalliques sont donc mieux baignées par l'eau et, à ce point de vue, risquent moins de se surchauffer;

D'autre part, la chaleur latente de vaporisation de l'eau diminue assez rapidement à mesure que s'élève la pression. A une quantité donnée de chaleur traversant la surface de chauffe et servant uniquement à vaporiser l'eau (que l'on suppose échauffée d'avance jusqu'à la température de vaporisation) correspondra donc la vaporisation d'une quantité d'eau plus grande si la pression est plus élevée.

Dans le tableau qui suit, nous avons indiqué, pour les mêmes pressions que précédemment, le volume du kilogramme de vapeur saturée, la chaleur latente de vaporisation et le rapport de cette chaleur latente à celle de l'eau à 10 kg : cm². Ce rapport donne une mesure de l'augmentation du taux de vaporisation pour une même transmission de chaleur par la surface de chauffe vaporisatrice.

Pression absolue.	Volume spécifique de la vapeur saturée.	Chaleur latente de vaporisation r.	Rapport $\frac{r_{10}}{r}$.
—	—	—	—
10 kg : cm²	198,2	$r_{10} = 482,6$	1,000
12 —	167	476,9	1,012
15 —	135	468,9	1,031
18 —	114	461,8	1,045
21 —	98,5	455,3	1,060
25 —	82,9	448	1,078

Nous avons poussé ci-dessous ce tableau jusqu'à la pression de 100 kg : cm² pour mettre mieux en relief l'allure de la variation.

30 kg : cm²	69,6	439	1,100
40 —	52,4	422,5	1,143
50 —	41,6	407,5	1,185
100 —	18,9	328	1,473

On voit que la réduction de r est de plus en plus rapide à mesure que le timbre s'élève.

Pour les deux raisons données ci-dessus, on peut penser que l'on arrivera, en élevant la pression, à obtenir normalement un taux de vaporisation de 50 kg d'eau par heure et par mètre carré de surface de chauffe de la chaudière proprement dite, peut-être même davantage. Il en résultera, bien entendu, une augmentation relative de la surface des échangeurs placés à la suite des chaudières, mais ce sont des éléments beaucoup plus sûrs. C'est la vaporisation elle-même qui est la difficulté.

On objecte quelquefois contre l'emploi des hautes pressions que la vapeur fournie est très dense et se dégage difficilement. Le tableau ci-dessus montre qu'à la pression de 50 kg : cm² la vapeur est encore quarante et une fois moins dense que l'eau. Cette légèreté est suffisante pour lui permettre d'acquérir toute la vitesse ascensionnelle nécessaire à un bon dégagement dans des faisceaux tubulaires bien étudiés.

D'autre part, l'emploi des timbres élevés permet, toutes choses égales, une réduction de l'encombrement des chaufferies.

En effet, le volume de la vapeur étant moindre pour une même quantité d'énergie potentielle, il peut y avoir réduction générale des diamètres des récipients, des tuyauteries, etc. Les dimensions linéaires de la chaufferie sont, à puissance égale, réduites dans tous les sens.

Il doit en résulter, tout compte fait, et malgré les soins spéciaux qu'il sera nécessaire d'apporter à l'exécution des appareils, une réduction du poids des matériaux rapporté à l'unité de puissance de l'usine, c'est-à-dire du prix des installations.

Par ailleurs, la diminution des surfaces rayonnantes est de nature à améliorer le rendement des chaudières, sous réserve d'une isolation suffisante des parois.

En ce qui concerne enfin la sécurité du personnel, on peut penser qu'à puissance

égale de chaudières, cette sécurité ne sera pas diminuée avec des chaudières de très haut timbre judicieusement conçues et construites.

La raison en est qu'à l'élévation du timbre, pour une chaudière de puissance donnée, correspondra logiquement, afin de conserver le même taux de travail du métal, une réduction des diamètres des tubes vaporisateurs et des récipients.

La capacité de ces derniers pourra également être réduite.

En cas de rupture de tube, accident de beaucoup le plus fréquent, la section livrant passage à l'eau surchauffée sera moins grande. En cas de rupture de récipient, accident tout à fait grave, mais d'ailleurs très rare, le volume d'eau surchauffée libéré instantanément pourra être moins grand avec la chaudière à haut timbre.

On peut penser enfin qu'il ne se présentera, dans l'exécution des chaudières à haute pression, aucune difficulté matérielle que les constructeurs qualifiés ne soient en mesure de surmonter.

Nous en terminerons avec cette question du timbre des chaudières, sur laquelle nous nous sommes un peu étendus parce qu'elle est, selon nous, un des facteurs essentiels de l'économie de combustible. C'est une nécessité que la France, à ce point de vue, soit en avance sur les autres pays.

Dans tout projet de nouvelle centrale, on peut à l'heure actuelle envisager au moins 25 kg : cm² comme pression des chaudières.

Ce timbre, qui ne présente aucune difficulté pour les chaudières de dimensions courantes, est maintenant accepté par les bons constructeurs, et il a même été choisi pour les grosses chaudières (1.330 à 2.000 m² de surface de chauffe, chaudières seules) de la centrale de 200.000 kW en construction à Gennevilliers.

Une autre centrale de 50.000 kW, qui doit être à peu près achevée en Angleterre, a été faite au timbre de 32 kg : cm².

Il est à peine besoin de dire que pour les chaudières de petite puissance, les difficultés de construction sont diminuées.

C. Surchauffe. — La surchauffe de la vapeur à pression constante a pour effet, on le sait, d'améliorer le rendement économique des machines. Il n'est pas inutile de rappeler que son adoption, maintenant générale, a été fort discutée pendant de longues années.

Le calcul donne seulement de 3 à 7 p. 100 comme avantage résultant de la dilatation de la vapeur par la surchauffe dans les limites où l'on se tient d'ordinaire. La pratique montre que l'économie est plus considérable et peut dépasser notablement ces chiffres. La surchauffe agit en effet, non seulement pour augmenter, à pression égale, le volume du kilogramme de vapeur, mais aussi pour diminuer les pertes dans les tuyauteries et surtout les pertes internes dans les machines.

Actuellement, le surchauffeur fait généralement partie intégrante de la chaudière et est intercalé dans le circuit général des gaz. Il intervient à ce titre pour abaisser dans une certaine mesure la température des gaz à la sortie.

Jusqu'où peut-on pousser la surchauffe de la vapeur?

Il y a une vingtaine d'années, on admettait 250° ou 275° comme température maximum de la vapeur à l'entrée des machines, à cause des difficultés du graissage intérieur. Cependant on a, depuis cette époque, fabriqué des huiles à cylindre permettant de marcher pratiquement à 350°, et cette température a été parfois dépassée dans certaines machines semi-fixes.

L'usage devenu général des turbines à vapeur, en supprimant la nécessité du graissage intérieur, aurait dû permettre l'emploi de températures notablement plus élevées. En fait, on n'admet encore que rarement plus de 350° à l'entrée des turbines, car l'emploi d'une très haute surchauffe est considéré comme délicat pour les enveloppes des turbines, du moins lorsque ces enveloppes sont en fonte.

Actuellement, on prend l'habitude de faire en acier coulé la partie de ces enveloppes

correspondant à la haute pression. D'autre part, le problème des garnitures d'étanchéité à haute pression, également délicat, a maintenant des solutions satisfaisantes. Dès lors, il semble que rien n'empêche d'adopter 400° comme température de surchauffe à l'entrée des turbines nouvelles.

Cela conduit à 425° ou 450° comme température dans les surchauffeurs de vapeur et les tuyauteries, chiffres qui pourront paraître fort élevés, et qui sont peut-être la limite à atteindre avec l'acier doux actuellement employé. Ces températures sont pourtant déjà pratiquées et l'économie qui en résulte permet de supporter, au besoin, un amortissement plus rapide des surchauffeurs.

L'avenir verra peut-être l'emploi de la vapeur surchauffée à des températures très élevées. Des températures de 500° à 700° paraîtraient la suite logique de l'emploi des très hautes pressions. On voit déjà apparaître en métallurgie des aciers spéciaux possédant, à ce point de vue, les propriétés les plus intéressantes. Ces aciers seront chers, mais leur emploi pourra être limité à une partie du circuit faible comme poids par rapport à l'ensemble. La vapeur obtenue aura des caractéristiques extrêmement avantageuses au point de vue thermodynamique. Car il semble, par ce qu'on sait jusqu'à présent, que la chaleur spécifique de la vapeur d'eau augmente rapidement dans les pressions et les températures élevées.

Les surchauffeurs sont actuellement presque toujours constitués d'un faisceau de tubes d'acier sans soudure de petit diamètre, mandrinés sur des collecteurs en acier. A l'intérieur circule la vapeur, à l'extérieur les gaz chauds. Certains dispositifs récents visent à régulariser la température en augmentant la masse de métal ou faisceau échangeur. Cette régularisation offre un certain intérêt.

D. Économiseurs. — La dénomination d'économiseurs est généralement réservée aux faisceaux tubulaires placés sur le parcours des gaz à l'aval des chaudières proprement dites et échauffant l'eau d'alimentation avant son introduction dans celles-ci. L'effet de ces réchauffeurs d'eau est doublement utile : ils récupèrent des calories et ils améliorent le fonctionnement de la chaudière. L'économie résultant de leur emploi est de 10 à 20 p. 100 suivant les cas.

Jusqu'à présent, la préférence était presque toujours donnée, en France, à l'économiseur à tubes de fonte. Le type le plus employé dans ces derniers temps était celui importé d'Angleterre (économiseurs Green ou types analogues). Par l'emploi de la fonte, on se mettait à l'abri des corrosions intérieures et extérieures, et grâce à la qualité de la fonte employée et aux autres soins de la construction, au râclage mécanique des suies, etc., ces appareils donnaient pendant de longues années des résultats satisfaisants.

Toutefois, depuis quelque temps, on s'est orienté de préférence, en Angleterre, vers l'emploi des réchauffeurs d'eau à tubes d'acier, constitués comme les faisceaux vaporisateurs des chaudières à tubes d'eau. Ces appareils réchauffeurs, malgré les corrosions auxquelles ils sont sujets au bout de quelques années, ont donné des résultats satisfaisants.

A partir du timbre de 25 kg : cm², l'emploi de la fonte pour les économiseurs devient plus difficile. On peut y obvier avec deux étages de pompes alimentaires en cascade, mais c'est une complication comportant moins de sûreté de bon fonctionnement que le refoulement de l'eau à sa pression définitive dans les économiseurs.

En fait, l'économiseur à tubes d'acier commence à s'implanter en France. En même temps que la facilité d'emploi direct aux pressions élevées, on attend de lui :

D'une part, un coefficient de transmission de chaleur plus élevé, grâce à une meilleure circulation de l'eau et des gaz;

D'autre part, un encombrement beaucoup plus faible et un prix moindre.

Un mode d'exécution déjà employé, et qui paraît particulièrement avantageux, consiste à construire ces appareils avec des petits tubes à la façon des surchauffeurs à vapeur. On

peut réaliser ainsi une forte vitesse de l'eau dans les tubes et donner un parcours méthodique aux gaz, conditions favorables à une bonne transmission de la chaleur.

Il est vrai que ce genre d'économiseur ne se prête pas au râclage mécanique des suies, mais l'inconvénient est peu grave, car les suies provenant des chaudières à tubes d'eau à grilles mécaniques sont généralement des cendres fines peu adhérentes, qu'on peut éliminer par soufflage et aspiration.

Par contre, il y a lieu de se préoccuper, avec ces appareils, des corrosions extérieures et intérieures.

Les premières sont à craindre pendant les temps d'allumage et d'arrêt, où les gaz ont une température assez basse pour produire des condensations acides sur les tubes. On y remédiera au moyen d'un carneau *by-pass* de petites dimensions, permettant le tirage direct à la cheminée durant ces temps.

Quant aux corrosions intérieures, on les rencontrera surtout dans les installations les plus perfectionnées où l'on alimente à l'eau très pure, et où, par conséquent, le métal des tubes n'est pas protégé par une couche d'incrustation contre l'action corrosive de l'oxygène et de l'acide carbonique dissous dans l'eau.

Pour se défendre contre ces corrosions, on a deux procédés efficaces, qu'on peut d'ailleurs employer simultanément : l'échauffement préalable de l'eau à une température voisine de 100°; le dégazage de l'eau dans des filtres où elle est mise en contact avec du fer à un état spécial, particulièrement attaquable par les gaz qu'il s'agit d'éliminer.

L'échauffement préalable de l'eau à environ 100° avant l'entrée aux économiseurs conduit, si l'on veut conserver aux gaz de la combustion une température de sortie très basse, à ajouter au circuit un économiseur en fonte ou un réchauffeur d'air.

Le mode de construction des économiseurs du type surchauffeur demande quelques précautions spéciales. Signalons en particulier qu'il convient de disposer les tubes avec une légère pente, permettant aux gaz de se dégager à la partie haute des cloches où l'on peut encore les purger, plutôt que de s'accumuler et d'attaquer le métal dans des boucles de tubes.

Ce type d'économiseur paraît convenir particulièrement aux centrales en raison de son efficacité et de son peu d'encombrement. Pour les mêmes raisons, il paraît intéressant à envisager pour des améliorations d'installations existantes, où la place ferait défaut pour monter des économiseurs du type ordinaire en fonte.

Théoriquement, l'économiseur devrait permettre de réchauffer l'eau d'alimentation jusqu'à la température d'ébullition dans la chaudière, ce qui diminuerait d'autant le travail de celle-ci. Pratiquement, dans l'état actuel des choses, il est bon de calculer l'économiseur de manière à rester de 40 à 50 degrés au-dessous de la température d'ébullition, pour éviter la vaporisation dans l'économiseur lui-même, qui pourrait donner lieu à des mécomptes. On pourra réchauffer l'eau dans l'économiseur à une température d'autant plus voisine de la température d'ébullition qu'on aura un régulateur d'alimentation plus parfait.

E. Réchauffeurs d'air. — L'économiseur-réchauffeur d'eau, s'il est convenablement développé, permet toujours de dépouiller suffisamment les gaz sortant des chaudières de leur chaleur sensible et, dans quelques cas, on a abaissé ainsi jusqu'à 100° la température de ces gaz. Mais la surface d'économiseur nécessaire pour un tel résultat est considérable et onéreuse, et d'autre part, pour pousser à ce point l'échange de chaleur entre les gaz et l'eau, il faut que celle-ci entre dans l'économiseur à basse température.

La question des corrosions, tout au moins pour les économiseurs en acier, incite à alimenter l'économiseur par de l'eau ayant une température assez élevée de l'ordre de grandeur de 100°. Nous verrons d'ailleurs plus loin une autre raison d'ordre économique qui milite dans le même sens. On a donc été conduit à mettre en série, après l'économiseur, un échangeur de chaleur échauffant l'air de la combustion, en refroidissant assez les gaz pour amener ceux-ci à la température finale que l'on a en vue.

Bien qu'ayant un coefficient de transmission très inférieur à celui des échangeurs à eau, les réchauffeurs d'air sont moins chers comme installation à efficacité égale. Ils ont, de plus, l'avantage précieux au point de vue d'une bonne combustion, d'introduire chaud dans le foyer l'air comburant, ce qui est en faveur du rendement des chaudières, toutes choses égales.

Quoiqu'elle soit encore très discutée, l'adoption des réchauffeurs d'air répond à la logique et tend à se répandre. On peut même penser que, dans cette utilisation mixte de l'économiseur et du réchauffeur d'air, l'importance de celui-ci augmentera progressivement.

Nous verrons en effet plus loin, à propos des turbines à vapeur, que l'on peut emprunter à la vapeur même, dans des conditions économiques, la chaleur nécessaire pour réchauffer l'eau d'alimentation. Ce point de vue conduirait à n'utiliser en principe que les réchauffeurs d'air pour dépouiller de leurs calories utiles les gaz de la combustion au sortir des chaudières. Il est possible que cette solution soit celle de l'avenir. On a eu la hardiesse de la choisir, en Angleterre, pour une centrale d'essai de 40.000 kW en voie d'achèvement. Pour le moment, à cause des grilles mécaniques et des maçonneries, on préfère ne pas trop élever la température de l'air comburant, ne pas dépasser 120 à 130° par exemple. L'emploi mixte d'économiseurs et de réchauffeurs d'air est celui auquel on s'est arrêté pour la centrale nouvelle de Gennevilliers.

On a fréquemment préconisé l'utilisation de l'air chaud provenant du refroidissement des alternateurs comme air comburant dans les foyers des chaudières. Ce système est parfois employé. Dans les centrales de grande puissance, avec des alternateurs à rendement très élevé, et surtout avec l'emploi de réchauffeurs d'air, il en résulterait un système de canalisations d'air d'un encombrement prohibitif. On aura plus d'intérêt à prélever l'air de la combustion, avant son passage aux réchauffeurs d'air, à la partie supérieure du bâtiment de la chaufferie, où l'air a une température notablement élevée. On fera ainsi une véritable récupération de la chaleur provenant du rayonnement des chaudières.

On peut concevoir des réchauffeurs d'air à relais constitués par des accumulateurs de chaleur, au moyen d'empilages de briques, suivant le système des appareils employés pour le chauffage du vent des hauts fourneaux. Jusqu'à présent, cependant, on n'emploie guère pour les chaudières que des échangeurs métalliques. Ces appareils peuvent être de deux types. Les uns sont formés d'un faisceau tubulaire à l'intérieur duquel passe l'air à échauffer, tandis que les gaz circulent autour des tubes. Dans les autres, les surfaces d'échange sont des tôles parallèles minces, espacées de 2 à 3 cm, entre lesquelles circulent, alternées, aussi méthodiquement que possible, des lames de l'air à chauffer et des gaz à refroidir. Le réchauffeur d'air à tôles paraît nettement supérieur, tant au point de vue du prix d'installation que de l'efficacité, au réchauffeur à tubes. Il en existe des types de construction très simple, en tôles et profilés du commerce, entièrement démontables, ce qui peut avoir un intérêt pour le remplacement des tôles.

Employés à titre d'essai en remplacement d'économiseurs, certains réchauffeurs d'air se comportent fort bien depuis six à sept ans. Utilisés dans la partie la plus froide du circuit des gaz, en queue d'économiseur, comme il a été dit plus haut, ils risquent d'avoir plus à souffrir des condensations acides des gaz. On préviendra cet inconvénient en faisant passer les gaz dans des *by-pass* pendant les périodes d'allumage et d'arrêt des chaudières.

Quoi qu'il en soit, le réchauffeur d'air semble devoir devenir un des échangeurs les plus intéressants des chaufferies, à cause de son prix relativement modéré, de sa légèreté, de son peu d'encombrement. C'est un des appareils pouvant le plus facilement être utilisés pour améliorer une installation existante non pourvue ou insuffisamment pourvue d'économiseurs.

On voit que les surfaces d'échange de chaleur, dans une chaufferie moderne, tendent

à se diviser en quatre éléments distincts ayant chacun une fonction particulière et concourant à la production de vapeur et à l'amélioration du rendement.

On peut se demander si cette division, qui constitue par elle-même une complication, conduit à une surface de chauffe totale plus grande pour une production donnée.

Une chaudière de type ancien, semi-tubulaire par exemple, produira normalement, pour 1 m² de surface de chauffe, 12 à 15 kg de vapeur saturée à 10 kg : cm² de pression, en évacuant ses gaz vers 200° à 250°, et avec un rendement ne dépassant pas 65 à 70 p. 100.

Un ensemble complet constitué comme il est indiqué plus haut, timbré à 25 kg : cm², produira normalement, pour 1 m² de surface de chauffe de la chaudière proprement dite, 20 ou 40 kg de vapeur surchauffée à 400°. Mais il aura fallu y adjoindre les surfaces d'échange suivantes, par mètre carré de surface de chauffe de la chaudière proprement dite :

Surchauffeur	0,25
Économiseur	0,60
Réchauffeur d'air	0,55
Total	1,40

On aura donc une surface totale d'échange de 2,4 m² pour une production de 30 à 40 kg de vapeur, soit sensiblement la même surface relative qu'avec la chaudière semi-tubulaire. Mais, d'une part, la vapeur obtenue aura une valeur d'utilisation 1,2 fois plus grande, à poids égal. D'autre part, le rendement thermique se sera élevé à 80 ou 86 p. 100. Enfin, le prix d'installation, à production égale, sera plutôt inférieur. Il n'est donc pas douteux que la conception actuelle soit nettement avantageuse.

F. Tirage. — Dans tout projet de centrale, on est amené à comparer les deux systèmes classiques : tirage par grande cheminée, tirage par ventilateur. Le choix dépendra des conditions de l'installation.

On reproche souvent à la cheminée un rendement très bas de la chaleur mise en œuvre. Ce reproche serait juste si on lui fournissait volontairement cette chaleur, mais, en réalité, la température d'évacuation étant fixée par la surface des échangeurs, il s'agit plutôt d'une utilisation de chaleur perdue. On peut donc dire que, pratiquement, le tirage obtenu est gratuit comme calories. Un ventilateur, au contraire, constituera toujours une dépense de calories sous leur forme la plus coûteuse, l'énergie mécanique.

Au point de vue de l'économie du combustible, la cheminée constituerait donc, contrairement à ce que l'on affirme trop souvent, la solution la meilleure du problème du tirage. Il suffirait de lui donner les dimensions nécessaires aux dépressions maxima que l'on a en vue. On pourrait aussi avoir toute la souplesse de fonctionnement nécessaire, en munissant les chaudières de registres bien établis et commandés mécaniquement. Enfin, la cheminée a pour elle l'avantage d'assurer, grâce à sa grande hauteur, une bonne diffusion des fumées dans l'atmosphère.

Si donc on est conduit, dans les chaufferies modernes, à choisir le tirage mécanique, c'est pour des raisons d'encombrement et d'économie d'installation. Car la multiplication des surfaces d'échange, l'augmentation de vitesse des gaz (recherchée pour favoriser les transmissions de chaleur) obligent à réaliser des dépressions considérables, allant jusqu'à 50 à 60 mm d'eau. D'autre part, la température d'évacuation des gaz est basse, et l'on serait conduit à des hauteurs exagérées pour les cheminées, quelquefois plus de 200 m. On adopte donc la solution plus pratique du ventilateur aspirant, pis aller d'ailleurs très acceptable.

Dans quelques systèmes, on fait passer tous les gaz chauds dans le ventilateur, ce qui donne théoriquement le meilleur rendement, mais conduit, pour les grosses installations, à des ventilateurs énormes.

Dans d'autres systèmes, qui paraissent plus répandus, on ne fait passer qu'une partie

des gaz dans le ventilateur. Ces gaz, utilisés dans un éjecteur de grandes dimensions comme fluide moteur, entraînent le reste des gaz chauds dans une cheminée en tôle de hauteur moyenne.

Ces systèmes, dits à tirage induit, paraissent réunir le maximum de souplesse, surtout quand le moteur du ventilateur est à vitesse variable.

Jusqu'à demi-charge, on utilise le tirage naturel de la cheminée en tôle. Au delà, on met en route le ventilateur avec une vitesse appropriée au régime voulu. Un éjecteur à vapeur de secours permet de faire le service en cas d'avarie au ventilateur et même, en cas de nécessité, de produire un tirage exceptionnel en faisant travailler les deux appareils simultanément.

Le tirage induit est, aux fortes dépressions, un peu plus coûteux que le tirage aspiré total, mais un peu plus avantageux aux faibles charges. Dans l'ensemble, les deux systèmes paraissent équivalents.

On emploie quelquefois, avec profit, une combinaison du tirage par cheminée, utilisé pendant les heures de charge moyenne, avec des ventilateurs aspirants permettant d'augmenter le tirage pendant la marche forcée des chaudières.

Dans le système de la grille soufflée, on refoule l'air comburant sous la grille, de préférence au moyen d'un ventilateur, sous une pression supérieure à la pression atmosphérique. On peut dès lors, en réglant convenablement le registre de sortie des gaz de la chaudière, réaliser dans le foyer une pression voisine de celle de l'atmosphère, ce qui diminue ou supprime les rentrées d'air dans la partie de la chaudière où elles sont le plus nuisibles.

L'expérience montre que le soufflage sous grille a, outre cet avantage, celui de donner, toutes conditions égales, une allure plus chaude que le tirage simplement aspiré, et notamment de permettre l'utilisation de charbons de plus mauvaise qualité.

G. Foyers. — Il existe encore des centrales possédant des chaudières chauffées à la main, mais elles deviennent de plus en plus rares et l'on peut dire qu'on n'en fait plus. Nous ne nous occuperons donc pas de ces foyers, dont il a d'ailleurs été parlé dans un autre rapport de la commission.

Depuis une vingtaine d'années, les foyers mécaniques se sont peu à peu implantés dans les chaufferies. Après avoir été longtemps inférieurs aux foyers à main comme fonctionnement, ils se sont améliorés et l'on peut dire qu'actuellement ils permettent de répondre à tous les besoins. En même temps qu'une notable économie de main-d'œuvre, ils procurent, lorsqu'ils sont bien réglés, une meilleure combustion en marche industrielle. Enfin, certains d'entre eux peuvent être construits pour des puissances considérables.

Généralement, on fournit à un foyer mécanique le charbon en charge dans une trémie, et on lui demande de réaliser le plus automatiquement possible les opérations suivantes :

Charger et répartir sur la grille le charbon nécessaire, à toutes les allures;

Brûler ce charbon le plus parfaitement possible en réalisant une bonne combustion ;

Rejeter le mâchefer, lequel doit, en principe, être entièrement dépouillé de carbone.

On demande en outre à ces foyers d'être souples et aisés comme conduite, et de pouvoir fonctionner avec des qualités de charbons aussi diverses que possible. Ce dernier desideratum n'est d'ailleurs pas toujours réalisé.

Nous ne dirons rien de certains foyers semi-automatiques, dans lesquels on fait à la main une partie des opérations, car ils ne sont qu'une demi-solution, quelquefois moins bonne que la chauffe à main.

Les foyers mécaniques les plus employés peuvent être divisés en deux classes :

1° Le *type à chaîne sans fin*. — Dans certains appareils de ce système, les maillons

eux-mêmes de la chaîne forment le plan de grille. Dans d'autres, les barreaux de grille sont supportés par des sommiers transversaux articulés.

La variation de vitesse de la grille est toujours un des moyens les plus importants pour le réglage du feu.

La grille entraîne dans son mouvement une épaisseur réglage du charbon. La combustion doit être achevée à l'extrémité de la course, et la grille ne doit, autant que possible, évacuer que la cendre, sans mélange d'imbrûlés.

Le réglage du tirage et, le cas échéant, du soufflage sous grille constituent les autres variables qui permettent d'adapter le régime de marche aux nécessités du service. Une bonne grille doit permettre de faire ce réglage de l'air localement, suivant les différentes tranches de la grille, soit par des compartimentages, soit par des registres individuels.

L'allumage du charbon est produit par une voûte réfractaire, jetée au-dessus de la partie antérieure de la grille et échauffée elle-même par le foyer. La forme de cette voûte a une importance capitale pour l'allumage et peut varier de plus de 10 p. 100 la teneur en matières volatiles admissible, toutes choses égales d'ailleurs. Les voûtes horizontales et très surbaissées nécessitent l'emploi de charbon plus gras que les voûtes inclinées.

Voici un aperçu des résultats auxquels on peut arriver par un bon réglage industriel de ces grilles à chaîne sans fin :

Sur des grilles à tirage naturel ou aspiré, on peut brûler avec 8 à 10 p. 100 de CO^2, 100 à 150 kg à l'heure par mètre carré de surface de grille, de charbon ayant au moins 17 p. 000 de matières volatiles et 5 à 20 p. 100 de cendres.

Sur des grilles soufflées, mais non compartimentées, on peut brûler avec 8 à 12 p. 100 de CO^2, 150 à 200 kg à l'heure par mètre carré de surface de grille, de charbon ayant 8 à 25 p. 100 de matières volatiles et 10 à 35 p. 100 de cendres.

Dans tous les cas, et sauf charbons ou allures tout à fait inappropriés, on peut arriver à évacuer du mâchefer ne contenant que 10 à 20 p. 100 de carbone, soit 2 à 7 p. 100 du charbon mis en œuvre.

Ce genre de grilles a l'inconvénient de nécessiter du charbon relativement calibré, ne dépassant pas 30 à 40 mm. Les voûtes d'allumage et le régulateur d'épaisseur, bien que constitués de matériaux refractaires, constituent des points faibles par leur usure quelquefois rapide.

D'autre part, pour les très grandes chaudières, il faut multiplier le nombre des grilles, la largeur d'un tablier restant forcément très limitée pour des raisons mécaniques.

L'inconvénient le plus sérieux dans ce système de foyer réside dans le fait que le passage d'une allure très faible à une allure très poussée demande un certain temps. On est obligé, en effet, pour avoir la certitude d'un bon allumage, de ne pas exagérer la vitesse linéaire de la grille, d'où une durée assez longue pour régler un nouveau régime. Leur souplesse reste néanmoins assez grande et l'on peut considérer que les grilles à chaîne sans fin constituent une solution très satisfaisante, d'ailleurs encore perfectible, du problème des foyers mécaniques.

2° Le *type à chargement inférieur* (*underfeed*). — Le charbon frais, approvisionné dans une trémie, est poussé dans le foyer sous le combustible en ignition, généralement au moyen d'un piston actionné mécaniquement. La grille est composée de barreaux fixes ou mobiles échelonnés en gradin, suivant lesquels le charbon en ignition descend progressivement, refoulé par le charbon introduit. Le plus souvent, les barreaux ont un léger mouvement de va-et-vient qui favorise la descente. En arrivant dans le foyer, le charbon s'échauffe, distille, puis brûle en entrant progressivement dans la zone chaude. En se formant, le mâchefer descend le long des barreaux inclinés, il est désagrégé au fur et à mesure par le mouvement des barreaux mobiles et doit arrriver à la partie inférieure sensiblement exempt de carbone.

Il n'y a plus ici de voûte pour l'allumage. Celui-ci se fait au sein de la masse en ignition.

Avec ce genre d'appareils, on est conduit à avoir sur grille de fortes épaisseurs de charbon, offrant une résistance importante au passage de l'air comburant. Aussi ces foyers sont-ils généralement soufflés, la pression du vent allant parfois jusqu'à 100 mm d'eau.

Pour faire varier l'allure du foyer, on agit sur le débit d'air soufflé, sur la vitesse du piston de chargement et, le cas échéant, sur le tirage.

Ces foyers sont très employés en Amérique, et il en existe des modèles excellents. Il semble toutefois que jusqu'à présent, on ne puisse y utiliser une gamme de combustibles aussi étendue que sur les grilles à chaîne soufflées.

Jusqu'à présent, on arrive à brûler dans les foyers underfeed 150 ou 200 kg à l'heure par mètre carré de surface de grille. Mais le charbon doit avoir plus de 15 p. 100 de matières volatiles et moins de 25 p. 100 de cendres. On peut arriver à régler la combustion de manière à avoir 12 à 15 p. 100 de CO^2 dans le gaz sortant des chaudières.

Le mâchefer produit aura également 10 à 20 p. 100 de carbone suivant les cas, comme avec les grilles à chaîne.

Voici les principaux avantages qu'offre ce genre de foyers, du moins les modèles perfectionnés :

Pas de voûte d'allumage ni de régulateur d'épaisseur, points faibles des grilles à chaîne. D'autre part, moins de pièces en fonte soumises au feu ;

Grande souplesse de fonctionnement, du fait de la masse de charbon existant dans le foyer, en ignition ou chaude, et prête à brûler. Il suffit d'augmenter ou de diminuer le débit d'air soufflé pour obtenir presque instantanément la variation d'allure demandée.

La couverture des feux se fait en introduisant du charbon frais en épaisseur suffisante sur la grille et en arrêtant le vent.

Le foyer est rapidement prêt à fonctionner.

Quand un foyer de ce système est constitué d'éléments juxtaposés le long de la façade de la chaudière, la dimension du foyer en largeur n'est pas limitée, ce qui permet de réaliser des foyers énormes sans augmenter la difficulté.

Ce genre de foyer convient déjà très bien dans l'état actuel des choses, aux centrales grandes ou petites. Il sera véritablement excellent lorsqu'on sera arrivé à y utiliser une gamme plus étendue de charbons.

Voici, en tout cas, des règles qui paraissent bonnes à suivre quel que soit le type de foyer choisi :

1° *Prévoir de grandes chambres de combustion.* — C'est un facteur primordial de bonne combustion et notamment un moyen d'arriver à avoir une teneur en CO^2 élevée dans les gaz en diminuant la probabilité de production de l'oxyde de carbone.

Certains constructeurs cherchent à rapprocher beaucoup le plan de grille des chaudières, au détriment de la hauteur de la chambre de combustion, dans le but d'augmenter la chaleur transmise par radiation directe du foyer aux tubes. Ils commettent, à notre avis, une erreur fondamentale. D'une part, en effet, ils risquent davantage d'avoir une combustion incomplète, des gaz fumeux pouvant précisément nuire à la transmission des radiations qu'ils recherchent. D'autre part, la chaleur transmise par radiation par le foyer, quelle que soit la chambre de combustion, ne peut qu'être absorbée par le faisceau tubulaire, aux pertes près résultant du rayonnement extérieur des maçonneries (pertes toujours faibles). On peut dire au contraire que ces radiations, après des réflexions sur les parois réfractaires, contribueront à un travail plus uniforme des tubes à la vaporisation ;

2° *Avoir des décrasseurs pour les grilles du type à chaînes.* — Ce sont des pièces de fonte réfractaire qui, en retardant la sortie du mâchefer, lui permettent d'achever de brûler et de commencer à se refroidir.

Dans les grilles à gradins, les décrasseurs sont remplacés par des mâchoires mobiles, à course réglable, qui produisent un effet analogue.

L'emploi de l'air chaud pour la combustion améliorera toujours le rendement des chaudières et permettra en outre d'élargir la gamme des combustibles utilisables pour une grille donnée.

Il y aurait à mentionner une troisième classe de *foyers mécaniques*, ceux *à charbon pulvérisé*, appelés peut-être à une grande extension. Mais le sujet est déjà traité en détail dans le troisième rapport de la Commission. Il nous sera cependant permis d'exprimer ici l'opinion que ce procédé, encore à ses débuts comme application aux chaudières, peut constituer, après mise au point, la solution la meilleure de la question de la combustion de certains charbons. Car il est douteux qu'on puisse arriver à brûler, dans d'autres foyers, avec 16 p. 100 de CO^2 dans les gaz, des charbons pouvant descendre à 5 p. 100 de matières volatiles et avoir jusqu'à 40 p. 100 de cendres.

Nous ne mentionnons également que pour mémoire, ainsi que nous l'avons déjà indiqué au début du présent rapport, le chauffage des chaudières au gaz ou au mazout. Dans la plupart des cas, en effet, il y aurait plutôt à préconiser, du point de vue où nous sommes placés, l'emploi direct de ces combustibles dans des moteurs à combustion interne.

H. Accessoires des chaudières. — Sans entrer dans beaucoup de détails, nous indiquons quelques dispositifs qu'on tend de plus en plus à employer dans les chaufferies et qui ont leur intérêt au point de vue de l'économie du combustible.

Ce sont, d'une part, les régulateurs automatiques d'alimentation qui, tout en facilitant la tâche du personnel, assurent une alimentation régulière des chaudières en eau. Certains appareils de cette classe opèrent d'une façon discontinue sous l'influence de la variation du plan d'eau de la chaudière entre deux limites. D'autres permettent une alimentation continue, dont le débit est fonction du niveau de l'eau dans la chaudière. Ceux-ci semblent plus satisfaisants au point de vue de la régularité. L'idéal serait évidemment un appareil assurant à chaque instant et rigoureusement l'introduction dans la chaudière d'une quantité d'eau égale à la vapeur produite. Un tel régulateur faciliterait la réalisation de chaudières à très haute pression, à grande variabilité d'allure et à fonctionnement presque automatique.

Ce sont, d'autre part, les souffleurs de suie, appareils visant à maintenir propres les surfaces extérieures des tubes, au moyen de jets de vapeur, de préférence surchauffée, plus ou moins mélangée d'air, ou au moyen d'air comprimé. Depuis longtemps on employait ces souffleurs sous la forme de simples lances mobiles à tuyaux flexibles, tenues et dirigées à bras. Actuellement, on tend à leur substituer des systèmes de tubes perforés, placés à poste fixe en divers points des chaudières et soufflant, par de multiples tuyères, la vapeur en jets courts et fréquents. On fait varier la position des jets de vapeur par des rotations des tubes soufflants pour éviter l'usure des tôles.

Dans un autre ordre d'idées, et quand on n'a pas de raisons impérieuses de faire autrement, il est recommandable d'employer des moteurs électriques à courant continu pour actionner les ventilateurs aspirants ou soufflants et même les grilles mécaniques des chaufferies. On dispose ainsi du réglage de vitesse par rhéostat de champ, qui donne à la chaufferie une grande souplesse et réduit au minimum la dépense de courant nécessaire. Pour les pompes alimentaires, par contre, on pourra employer les moteurs à courants alternatifs.

I. Tuyauteries de vapeur. — La fonte de fer n'est plus du tout employée pour les tuyauteries de vapeur autres que celles à très basse pression ou d'échappement. Outre l'inconvénient d'être cassante, elle a celui de se dénaturer à la longue sous l'influence

de la vapeur surchauffée. On préfère les tuyaux en acier soudé à recouvrement ou mieux les tuyaux en acier étiré sans soudure.

Tout le monde admet actuellement que les brides d'assemblage des tuyaux entre eux doivent être très largement calculées comme épaisseurs et comme boulons de serrage, les tuyauteries ayant à subir non seulement la pression de vapeur, mais des efforts de dilatation parfois considérables.

En ce qui concerne la fixation des brides sur les tuyaux, les opinions sont assez partagées. Les brides peuvent être rivées, ou simplement mandrinées, ou mandrinées et rivées. On n'accepte plus guère, pour les gros diamètres, le seul mandrinage. Le tuyau doit en tout cas alors être rabattu à froid à son extrémité. Enfin, on a commencé à employer, même pour des grosses tuyauteries à haute pression, la soudure électrique. Ces divers systèmes ont leurs avantages et leurs inconvénients. Ils donnent tous une sécurité suffisante quand ils sont exécutés avec soin. La bride soudée électriquement paraît pouvoir donner, pour les tuyaux épais et les hautes pressions, une étanchéité supérieure.

Quel que soit le type de fixation adopté, il faut avoir la certitude d'une parfaite exécution du travail. Les divergences d'opinion des techniciens concernant ce point ont sans doute comme origine des différences dans l'exécution.

Pour la forme et la matière des joints, les avis sont également partagés. Les joints plats, ou à emboîtement simple ou à emboîtement double, peuvent tous donner des résultats satisfaisants si les brides sont assez robustes, la tuyauterie bien exécutée, et la matière des joints bien choisie.

Afin d'assurer la dilatation des tuyauteries, on employait autrefois des dispositifs spéciaux : soit des joints glissants, soit des joints à rotule, ou des courbes en forme de lyre. Actuellement, on cherche souvent à éviter ces dispositifs, qui sont coûteux et donnent lieu à des inconvénients. On cherche bien entendu à réduire au minimum les longueurs de tuyauteries, et on choisit des tracés permettant, au prix d'un certain travail du métal, d'absorber les dilatations. L'emploi des hautes pressions ayant comme conséquence une diminution relative des diamètres est de nature à faciliter notablement, à ce point de vue, la construction des tuyauteries, tout en permettant de réduire leur encombrement.

La robinetterie à vapeur demande à être très soignée. Il faut refuser absolument les qualités médiocres qui donnent lieu, en service, à des pertes de vapeur souvent énormes et à des difficultés d'exploitation. Il existe actuellement des types de robinets offrant toutes les garanties voulues jusqu'aux pressions de 25 kg : cm² et plus et jusqu'à la température de 400°. Leur emploi est presque toujours économique, même quand leur prix paraît élevé, grâce à leur étanchéité parfaite. Seuls ils permettent de faire aux tuyauteries et aux joints l'entretien nécessaire en cours d'exploitation.

Ces robinets sont caractérisés par une extrême robustesse leur assurant l'indéformabilité, une exécution parfaite et l'emploi, pour les surfaces d'obturation, de métaux spéciaux extrêmement durs.

La fonte de fer, abandonnée pour les tuyauteries, ne convient pas non plus pour la robinetterie de vapeur. Pour celle-ci, l'emploi d'acier coulé est maintenant général.

Le bronze suffit cependant pour les petits robinets n'ayant à recevoir que de la vapeur saturée.

Dans les centrales importantes, on a été conduit, aux pressions pratiquées jusqu'ici, à établir des collecteurs de vapeur dont le diamètre atteint 45 cm. L'exécution de ces gros collecteurs est fort difficile. En admettant des pressions plus élevées et des vitesses de vapeur un peu plus grandes, en étudiant bien les courbes, on arrive à limiter les diamètres à 200 ou 250 mm. On pourra abaisser cette limite à 150 mm si l'on élève encore le timbre. Cette réduction du diamètre constitue, toutes choses égales d'ailleurs, un élément de sécurité.

Les calorifuges des tuyauteries de vapeur doivent être traités avec le plus grand soin, et cela d'autant plus que la surchauffe est plus haute. De la perfection des revêtements calorifuges peuvent résulter d'importantes économies.

Les bases des principaux calorifuges employés sont toujours la magnésie, l'amiante ou la silice. Les épaisseurs vont jusqu'à 80 ou 90 mm. Les brides doivent être ou bien recouvertes de boîtes métalliques démontables, également calorifugées, ou bien enrobées directement dans la matière isolante.

Les récipients d'eau chaude ou de vapeur, les tuyauteries d'eau chaude doivent également être calorifugés.

J. Eau d'alimentation. — Il est naturel que le problème de l'eau d'alimentation soit devenu un des plus importants de ceux posés dans les centrales à vapeur. D'une part, en effet, les incrustations ont une influence sérieuse sur l'économie de combustible et la productivité des chaudières. D'autre part, l'emploi systématique des chaudières à tubes d'eau a accru ces inconvénients, le taux de vaporisation par mètre carré étant plus fort et les incrustations étant beaucoup plus adhérentes à l'intérieur d'un tube à eau qu'à l'extérieur d'un tube à fumée.

On a donc été conduit rapidement à l'emploi régulier des condenseurs par surface et à l'épuration de l'eau d'appoint. Mais lorsqu'on a voulu pousser le système à son extrême limite et marcher avec de l'eau tout à fait pure, on a eu à lutter contre les corrosions intérieures des chaudières, dues à ce que le métal n'était plus protégé par aucune incrustation contre l'attaque de l'oxygène et de l'acide carbonique contenus dans l'eau.

Voici les dispositions qu'on tend à choisir actuellement pour résoudre au mieux la question :

1° Le condenseur par surface étant adopté en principe, on s'efforce de réduire au minimum la compensation des pertes en récupérant toutes les eaux de purge. On arrive ainsi à ramener à 3 ou 5 p. 100 au lieu de 8 ou 10 p. 100 le pourcentage d'eau de réparation;

2° Cette eau d'appoint est épurée, et, au lieu de la faire entrer directement dans le circuit général, on l'affecte à des chaudières spéciales, qui sont les seules où l'on ait à traiter les incrustations. Ces chaudières peuvent, par exemple, être d'un type facile à nettoyer et l'on s'attache à les nettoyer aussi fréquemment qu'il sera utile de le faire;

3° Il se présente malgré tout des fuites aux condenseurs, soit accidentelles en cas de rupture de tubes, soit permanentes aux presse-étoupe. C'est pourquoi les chaudières, même alimentées à l'eau distillée, sont sujettes à s'incruster à la longue par suite de la concentration des sels. On limite cette concentration en faisant, en un point choisi du circuit d'eau dans la chaudière, un prélèvement continu d'eau chaude (1 à 2 p. 100 de la quantité d'eau vaporisée).

On collige d'ailleurs toutes ces purges continues dans un échangeur à surface : elles y abandonnent leurs calories, employées à réchauffer l'eau d'appoint, ainsi que leurs boues, et peuvent de nouveau être utilisées à l'alimentation;

4° Les corrosions par l'eau étant dues à l'oxygène et à l'acide carbonique qui y sont dissous, on évitera, dans la mesure du possible, le contact avec l'air extérieur des eaux d'alimentation. On les chauffera, si possible, vers 100° dans la bâche alimentaire au moyen de vapeur d'échappement ou autre, afin de favoriser le dégagement des gaz. La bâche alimentaire devra être close, avec une petite cheminée de dégagement permettant le départ des gaz et empêchant néanmoins, par un léger échappement de vapeur, le contact de l'eau avec l'air atmosphérique;

5° Sur le trajet de l'eau, entre bâche alimentaire et économiseurs, on intercale des filtres contenant du fer très pur, très divisé, de qualité particulière et très sensible à l'oxydation. Ce fer fixe les gaz nocifs restant dans l'eau et les empêche d'aller corroder les tubes des économiseurs ou des chaudières. La dépense résultant de cette filtration est faible, les charges pouvant servir pendant plusieurs mois.

De plus, on ménage en différents points hauts du circuit de l'eau, par exemple dans les économiseurs, des récipients où peuvent encore se colliger les gaz en circulation et d'où on peut les purger.

En prenant toutes les précautions qui précèdent, on sera à peu près assuré de conserver aux chaudières la propreté intérieure nécessaire à une bonne transmission de la chaleur et de réduire leur entretien, au point de vue des corrosions, au minimum possible.

Il sera, bien entendu, nécessaire de contrôler régulièrement et fréquemment l'étanchéité des condenseurs à surface, car il ne servirait de rien de veiller avec autant de soin à la propreté et aux conditions d'introduction de l'eau d'appoint, si l'on devait subir par ailleurs des rentrées notables d'eau brute dans le circuit. Les condenseurs sont souvent loin d'être parfaits à ce point de vue et il convient d'être exigeant vis-à-vis des constructeurs de ces appareils.

Il paraît un peu illusoire d'envisager, comme on le fait quelquefois, la distillation de l'eau d'appoint dans un appareil spécial. Même dans les appareils perfectionnés, cette distillation coûte du charbon. L'envoi de l'eau d'appoint simplement épurée dans des chaudières séparées paraît à l'heure actuelle suffisante et plus économique.

On voit que cette question de l'eau d'alimentation a pris dans les centrales une grosse importance, en raison de son influence sur la bonne utilisation du combustible. C'est maintenant un service déjà compliqué, nécessitant un contrôle continuel, d'ailleurs complètement justifié par les résultats.

Pour en terminer avec le sujet, nous ajouterons qu'il est possible, en certains cas, de corriger, au moyen de réactifs introduits dans l'eau d'alimentation des chaudières, les imperfections de l'épuration préalable de cette eau. Toutefois, ces réactifs, qui agissent soit chimiquement, soit physiquement, sont à déterminer dans chaque cas, suivant la nature des eaux. Ils préviennent la formation de dépôts adhérents dans les chaudières ou favorisent leur enlèvement.

K. Conduite des chaufferies. — La façon de conduire les chaudières a, on le sait depuis longtemps, une influence notable sur le rendement économique d'une chaufferie. Le perfectionnement des installations et, notamment, la multiplication des échangeurs en série pour abaisser la température des gaz évacués a diminué un peu l'importance relative du facteur humain. Néanmoins, il y a toujours un grand intérêt à réaliser une bonne marche, les chaufferies devenant de plus en plus puissantes.

Les chaudières sont généralement calculées pour donner le meilleur rendement au voisinage de leur charge normale, et on devra s'y tenir autant qu'on le pourra. Toutefois, dans celles qui sont bien pourvues d'économiseurs (ou de réchauffeurs d'air), s'il est possible de régler une bonne combustion, le rendement peut rester satisfaisant jusque vers 60 ou 70 p. 100 de la charge normale, les causes d'augmentation ou de diminution du rendement se compensant dans une certaine mesure.

Le véritable problème sera toujours d'obtenir, à toutes les allures, une bonne combustion, c'est-à-dire une teneur en CO^2 élevée dans les gaz, sans oxyde de carbone, avec des pertes réduites en imbrûlés. Les grilles mécaniques, si elles sont bien choisies et si l'on dispose de moyens de réglage suffisants, permettent d'y arriver plus ou moins. Les résultats obtenus dépendent d'ailleurs essentiellement de la qualité des charbons. On parle souvent de 4 à 5 p. 100 de CO^2 dans les gaz comme chiffres courants. Ces chiffres sont pessimistes. Il est relativement aisé de régler en marche industrielle les grilles mécaniques de manière que les gaz sortant des chaudières aient une teneur en CO^2 de 7 à 12 p. 100, suivant les installations et les allures. Sans être encore très brillantes, ces teneurs peuvent conduire, avec des échangeurs développés, à des rendements de chaudières de 75 à 85 p. 100.

On tend d'ailleurs, dans les centrales, à munir les chaudières de tous les appareils de

mesure ou de contrôle permettant de suivre scientifiquement la chauffe. L'adoption de grosses unités comme chaudières est, à ce point de vue, très favorable. Dans cet ordre d'idées, signalons que les puissantes chaudières de la nouvelle centrale de Gennevilliers seront traitées comme de véritables petites usines dont on pourra à chaque instant établir le bilan thermique. Elles seront munies notamment chacune de :

Bascules automatiques pour le pesage du charbon;

Compteurs d'eau d'alimentation;

Enregistreurs de température et de dépression des gaz de combustion en différents points du circuit;

Enregistreurs de température et de pression de l'air soufflé;

Enregistreurs de température de l'eau à l'entrée et à la sortie des économiseurs;

Enregistreurs de température de la vapeur surchauffée;

Indicateur de débit de vapeur;

Enregistreur-analyseur de CO^2.

Les deux derniers appareils sont peut-être encore un peu délicats et demandent quelque entretien. Tous les autres ne comportent aucune difficulté d'application.

La surveillance même de la chauffe est de plus en plus confiée à des agents techniques qualifiés. Des cours tels que ceux de l'Office central de Chauffe rationnelle sont, à ce point de vue, très en faveur pour former ces agents, et on ne peut que les recommander fortement.

La conduite des chaufferies d'une centrale alimentant une distribution publique d'électricité se présente dans des conditions spéciales qui augmentent la difficulté. Il faut, en effet, tenir compte des variations soit régulières, soit irrégulières de la charge du réseau, ce qui implique une liaison étroite des tableaux et de la chaufferie.

Dans certaines centrales, on établit des indicateurs lumineux renseignant les conducteurs de chaudières sur l'état de la charge; mais cette solution n'est pas parfaite.

L'idéal serait évidemment de pouvoir centraliser dans une cabine, sous les yeux d'un opérateur, les appareils de mesure et les manettes de commande à distance des appareils de réglage de la combustion, chaque chaudière ayant son panneau, de la même façon qu'on rassemble sur un pupitre tout ce qui permet de régler à distance la marche des turbo-alternateurs. L'opérateur ayant sous les yeux la courbe du wattmètre général de l'usine pourrait y adapter exactement la marche de toute la partie de la surveillance nécessitant la proximité immédiate des chaudières, notamment de celle du service de l'alimentation et des opérations de décrassage qui, d'ailleurs, influent très peu sur la combustion.

Peut-être coûteuse comme installation, cette façon de régler la chauffe à distance paraît néanmoins réalisable, même dans l'état actuel des choses. Son principal défaut serait, à notre avis, d'exiger la présence, dans les grandes centrales, de plusieurs techniciens présentant des qualités rares d'intelligence, de compétence et de sang-froid et dont le recrutement pourrait être difficile. Les chaudières restent encore, en effet, des appareils délicats dont la conduite ne souffre aucune faute, si l'on ne veut pas risquer d'accidents graves. Il est cependant à penser que dans l'avenir, et notamment si l'on vient à employer de très hautes pressions, le faible volume d'eau des chaudières et l'emploi de bons régulateurs d'alimentation permettront d'arriver à une grande variabilité d'allure et à un réglage semi-automatique de la marche. La centralisation dont il vient d'être parlé sera alors possible.

Jusque-là on pourra se contenter de la demi-solution suivante :

Réunir dans une cabine centrale, avec le wattmètre ou les wattmètres enregistreurs donnant à chaque instant la charge totale de l'usine, des panneaux, en nombre égal au nombre des chaudières, fournissant pour chaque chaudière les indications numériques qui caractérisent le fonctionnement de l'appareil : pression, température de la vapeur surchauffée, teneur des gaz en CO^2, vitesse des grilles automatiques, caractéristiques du

tirage, etc. Le rôle de l'agent posté dans cette cabine se réduirait à donner des ordres, par téléphone ou par signaux lumineux, l'exécution des manœuvres restant confiée aux agents de surveillance placés aux abords même des chaudières, à charge pour eux de rendre compte à l'agent central aussitôt exécution. Cette façon de faire, assurant l'unité de conduite de la chaufferie, aurait en outre l'avantage de ne pas rendre écrasante la responsabilité de l'agent central et de faciliter son recrutement.

L. Traitement des mâchefers. — Nous avons dit plus haut qu'on arriverait, avec des grilles mécaniques bien réglées comme combustion, en marche industrielle, à maintenir entre 10 et 20 p. 100 la proportion de coke existant dans les mâchefers, ce qui correspond, pour la perte par imbrûlés, à une fraction de 2 à 7 p. 100 du charbon mis en œuvre, suivant le charbon employé et les allures de marche pratiquées.

Si l'on veut diminuer les pertes par imbrûlés, il faut agir sur l'allure de la grille ou sur le débit d'air : on est assez vite limité par les pertes provenant de la composition des gaz, et le meilleur rendement résultera d'un compromis entre ces deux genres de pertes.

La souplesse des chaufferies serait évidemment rendue plus grande et leur rendement final serait peut-être augmenté, si l'on avait moins à se préoccuper des pertes par imbrûlés, ceux-ci faisant l'objet d'une récupération dans les mâchefers. Dans les grosses installations, on sera conduit à organiser cette récupération d'un nouveau genre, s'ajoutant à toutes les récupérations déjà pratiquées. Les progrès faits dans le triage des combustibles, d'une part, et dans le brûlage des mauvais charbons, d'autre part, permettent d'envisager comme suit l'opération :

Les mâchefers de la centrale seront dirigés sur une usine annexe comprenant :

La réception et le stockage des mâchefers;

Un criblage de ceux-ci par grosseur;

Des séparateurs de coke pour chaque grosseur;

L'évacuation des cokes triés d'un côté, des mâchefers traités de l'autre;

S'il y a lieu, des presses à agglomérer, soit pour les cokes, soit pour les mâchefers, soit pour les uns et les autres.

Les séparateurs à employer sont des laveurs utilisant les différences de densité dans l'eau. Il en existe des types perfectionnés permettant de récupérer 80 à 90 p. 100 du coke contenu dans les mâchefers.

L'utilité de l'établissement de presses à agglomérer dépendra de l'usage à faire des produits du traitement. Généralement la centrale aura intérêt à réutiliser les cokes triés, en faisant au besoin l'agglomération des produits fins. Quant au mâchefer dépouillé de son coke, il est maintenant connu qu'il constitue un des meilleurs matériaux de construction, soit en agglomérés, soit moulé sur place en béton. On aura sans doute avantage à le vendre aussi bien en vrac qu'en agglomérés.

Un traitement rationnel des mâchefers est évidemment à préconiser au point de vue de l'utilisation des combustibles. Il est à peu près certain qu'il constituera, surtout dans les installations importantes, une opération fructueuse.

Nous en terminons ici avec la question des chaufferies et nous allons examiner l'utilisation de la vapeur.

M. Turbines a vapeur. — A moins qu'il ne s'agisse de très petites installations ou de cas très particuliers, on n'envisage plus aujourd'hui, dans les centrales à vapeur productrices d'énergie électrique, que les turbines, qui dans ce domaine ont décidément détrôné les machines à pistons. Nous ne parlerons donc pas de celles-ci, et nous nous bornerons à des indications sur l'état actuel de la question des turbines à vapeur, comme nous l'avons fait pour les chaudières.

En se plaçant au point de vue du mode de travail de la vapeur, on distingue deux classes de turbines : les turbines à action ou à impulsion et les turbines à réaction.

Les turbines à action sont établies de façon que l'énergie potentielle de la vapeur soit transformée totalement en énergie cinétique dans des tuyères ou des distributeurs fixes, la vapeur agissant sur les aubes mobiles par sa vitesse seule.

Dans les turbines à réaction, on détend la vapeur, partiellement dans des distributeurs fixes, partiellement dans les aubages mobiles, la vapeur agissant sur ceux-ci à la fois par sa vitesse et par sa détente.

Sauf dans des cas spéciaux et pour de faibles puissances, on n'emploie plus guère la turbine à un seul étage de pression. Elle est alors toujours à impulsion.

Pour constituer des turbines qui tournent à des vitesses directement utilisables et qui épuisent aussi complètement que possible l'énergie de la vapeur, on est conduit à fractionner la chute de pression totale entre un certain nombre d'étages et à composer la turbine d'éléments successifs, dans lesquels la vapeur se détend suivant l'un des modes d'action ou réaction. On arrive ainsi à diminuer l'écart entre la vitesse d'écoulement de la vapeur et la vitesse linéaire des aubes, écart qui a une influence importante sur le rendement.

Les turbines à réaction pure, c'est-à-dire celles dont tous les aubages récepteurs, aux étages successifs de pression, fonctionnent suivant le principe de la turbine à réaction, étaient, il y a quelques années, très en vogue et réputées pour leur fonctionnement économique. Depuis lors, les turbines à action (soit à action pure, soit à action dans la partie à haute pression et à réaction dans la partie avoisinant le condenseur) se sont peu à peu imposées, grâce aux avantages ci-après de la turbine à action :

Moins d'étages de pression, toutes conditions égales;

Absence de la poussée axiale due à la réaction;

Possibilité de ménager des jeux importants entre parties fixes et parties tournantes.

Le rendement thermodynamique des turbines à action est du reste devenu, grâce aux progrès réalisés, aussi bon que celui des turbines à réaction.

On peut, dans un même étage de pression d'une turbine à action, utiliser plusieurs roues en série pour absorber l'énergie cinétique de la vapeur. On a aussi des roues dites à chutes de vitesse.

On construit de moins en moins de turbines à réaction pure. La plupart des constructeurs adoptent actuellement l'une des formules suivantes :

Action pure à tous les étages avec, à chaque étage, une roue réceptrice portant une seule couronne d'aubes;

Action pure avec des roues à chutes de vitesse soit aux étages supérieurs seulement, soit à tous les étages.

Action et réactions combinées, la partie amont de la turbine comportant un ou plusieurs étages à action, avec roues simples ou à chutes de vitesse, et les étages de la partie aval étant à réaction.

Tous ces types de turbines, lorsqu'ils sont étudiés et établis par des constructeurs sérieux, peuvent donner des résultats sensiblement équivalents comme économie de fonctionnement et comme conditions de marche.

Il convient de citer, à côté des turbines à éléments multiples appartenant aux systèmes d'emploi courant, un type spécial de turbine à réaction pure, d'origine suédoise, apparu quelque temps avant la guerre : la turbine radiale à double rotation.

Elle est composée en principe de deux disques tournant en sens inverse, à la même vitesse, en regard l'un de l'autre et portant chacun plusieurs séries d'aubages se correspondant. Ces disques remplacent l'un les distributeurs fixes, l'autre les roues mobiles d'une turbine ordinaire. La vapeur admise par le centre se détend radialement en agissant successivement et en sens contraire sur les aubages de l'un et l'autre disque. Elle va ensuite au condenseur.

Cette disposition constitue une solution élémentaire du problème des grandes vitesses linéaires des ailettes mobiles. Ainsi une telle turbine, dont les deux rotors tournent à

3.000 tours par minute, se comporte au point de vue du diagramme des vitesses comme une turbine ordinaire tournant à 6.000 tours. Les difficultés mécaniques spéciales inhérentes à cette solution paraissent avoir été résolues d'heureuse façon. Certaines turbines de ce système fonctionnent en France depuis plusieurs années.

En fait, d'après les essais publiés, les turbines à double rotation paraissent arriver, pour les petites dimensions, à des consommations inférieures de 10 à 15 p. 100 à celles des turbines des autres types, toutes choses égales. Bien qu'elles nécessitent deux alternateurs par machine, et qu'elles soient encore coûteuses comme construction, l'économie en résultant permettra sans doute de développer leur emploi. Jusqu'à présent on a construit ce genre de turbines jusqu'à 3.000 kW en France, 10.000 kW en Angleterre et 15.000 kW en Suède. La réalisation des grandes puissances présente des difficultés et peut-être aussi moins d'intérêt.

Dans la constitution des unités de très grande puissance on est parfois conduit, pour ne pas donner aux dernières roues des dimensions excessives ou pour faciliter la construction, à faire travailler la vapeur d'abord dans une turbine HP, puis dans une ou plusieurs turbines BP qui peuvent être, ou sur le même arbre, ou entièrement séparées. Il peut en résulter une légère économie dans la consommation, au prix d'un encombrement et d'un coût supérieurs. Les groupes les plus puissants construits aux États-Unis dans ce style paraissent être de 70.000 kW, divisés en trois corps.

Ces turbines sont appelées compound, comme les machines à vapeur à plusieurs cylindres. Le principe en est assez rationnel, car on sépare des éléments ayant des températures de régime très différentes, dont la réunion peut donner lieu à des difficultés provenant des dilatations.

N. Caractéristiques des turbines. — La turbine comprend une enveloppe divisée en plusieurs pièces assemblées solidement, notamment suivant un plan diamétral.

Cette enveloppe a été longtemps faite entièrement en fonte de bonne qualité. Depuis quelques années, on a commencé à adopter l'acier coulé pour la partie HP, ce qui donne plus de sécurité et est de nature à favoriser l'emploi des pressions élevées.

Dans l'enveloppe soigneusement usinée sont calées des directrices ou distributeurs fixes, en fonte, portant des ailettes en acier entre lesquelles la vapeur prend la vitesse et la direction voulues pour agir sur les aubages mobiles.

Les aubes mobiles sont actuellement presque toujours portées à raison d'une ou plusieurs rangées, solidement encastrées, par des disques ou roues en acier de choix ayant la forme de solides d'égale résistance. Ces roues sont clavetées sur un arbre en acier accouplé directement à l'arbre de l'alternateur. La rotation se fait dans des paliers garnis d'antifriction et graissés sous pression.

Le condenseur et un certain nombre d'appareils accessoires établis en vue de l'automaticité et de la sécurité de marche complètent la turbine. Il en sera question ci-après.

La pression de vapeur à employer pour les turbines à vapeur a longtemps paru limitée à 15 ou 16 kg : cm² tant que l'enveloppe était en fonte. Depuis qu'on s'est décidé à faire en acier coulé la partie à haute pression de cette enveloppe, la limite de pression admissible est de beaucoup reculée, la question des garnitures d'étanchéité paraissant pouvoir être réglée assez facilement.

Pour la même raison, la température de la vapeur à l'entrée des turbines, qu'on limitait autrefois à 325°, peut être portée actuellement vers 400°. Il est à penser que dans l'avenir on pourra aller encore plus loin.

La vitesse de rotation dépend essentiellement de l'emploi de l'énergie fournie par la turbine et de la puissance de celle-ci.

En principe, les grandes vitesses sont toujours favorables. Elles permettent de diminuer les pertes internes, de réduire le nombre des étages et d'améliorer le rendement thermodynamique. Aussi les pousse-t-on à l'heure actuelle à la limite compatible avec la

résistance des meilleurs aciers. Certaines turbines modernes de grande puissance atteignent des vitesses linéaires de 325 m : s à l'extrémité des aubages.

Voici quelques chiffres qui donnent une idée des progrès accomplis depuis une quinzaine d'années :

On admettait alors 1.000 kW comme puissance maximum pratique pour la vitesse de 1.500 tours par minute. On construit aujourd'hui 35.000 kW pour la même vitesse de 1.500 tours, et 10.000 kW pour la vitesse de 3.000 tours par minute. Ces chiffres paraissent être les limites actuelles.

Les seules vitesses permises pour les turbines directement accouplées aux alternateurs à 50 périodes, fréquence normale en France, sont 3.000 tours, 1.500 tours, 1.000 tours, 750 tours par minute.

On utilise parfois pour des cas spéciaux, tels que turbo-compresseurs, turbo-pompes à haute pression, ou commandes d'alternateurs par réducteurs à engrenages, des vitesses de rotation dépassant notablement 3.000 tours. La limite actuelle paraît être de 5.000 tours par minute pour 5.000 kW.

Ces turbines à très grande vitesse semblent devoir se développer beaucoup comme application, même au prix de réducteurs à engrenages. Elles se prêtent particulièrement à l'emploi des hautes pressions. Peut-être à ce point de vue sera-t-on amené à regretter plus tard que la fréquence normale en France ne soit que de 50 périodes.

Les étages de pression des turbines à action sont séparés l'un de l'autre par des diaphragmes en fonte portant, venus de fonte, les aubages distributeurs en acier spécial. Les diaphragmes doivent être très solides, pour résister aux pressions exercées d'étage à étage, et aussi étanches que possible, pour éviter les fuites de vapeur le long de l'arbre.

Dans les étages de vitesse ou de réaction, les aubages distributeurs sont généralement portés par l'enveloppe elle-même.

Les roues portant les aubages mobiles ne doivent pas être trop minces pour éviter de se voiler en cas de dilatations inégales. Elles arriveraient ainsi à frotter sur une partie fixe et seraient détériorées.

Certains constructeurs les font simplement en acier au carbone de bonne qualité, mais on tend, avec les grandes vitesses, à les faire en aciers spéciaux. On emploie par exemple certains aciers au nickel, qui présentent en outre l'avantage d'être très durs et peu oxydables.

Les aubes des roues motrices sont, suivant les constructeurs, soit en bronze, soit en acier au nickel. Elles sont encastrées à queue d'aronde sur la jante des roues. Dans les turbines soignées, elles ne sont pas embouties, mais fraisées, et pour les étages inférieurs, on leur donne la forme de solides d'égale résistance.

Un tracé parfait et une bonne exécution des aubages distributeurs et des ailettes mobiles ont une importance capitale au point de vue du rendement. Il faut leur attribuer la plus grande part des progrès faits depuis l'origine dans la consommation des turbines.

La construction des dernières roues présente des difficultés particulières, dans les turbines à un seul corps et à grande vitesse. Avec de la vapeur à 25 kg : cm² et un vide de 97 p. 100, chiffres déjà pratiqués, un volume 1 de vapeur à l'entrée de la machine est devenu 750 dans la dernière roue. Il faut donc donner à la roue le plus grand diamètre possible, une hauteur très grande aux ailettes, ou admettre une perte notable au condenseur par vitesse restante. On choisit un compromis entre ces éléments contradictoires.

La solution adoptée en Amérique pour tourner cette difficulté avec des puissances de 60.000 ou 70.000 kW est, comme nous l'avons déjà indiqué, de séparer la turbine en trois éléments : une partie HP et deux éléments BP marchant en parallèle.

Les garnitures d'étanchéité aux points où l'arbre traverse l'enveloppe de la turbine constituent un problème assez délicat. On les forme ordinairement d'une série de lames de bronze spécial ou d'anneaux de carbone fixes, ajustés à une très faible distance de

l'arbre et contrariant le passage du fluide. Du côté du vide, on établit en outre une circulation de vapeur ou même d'eau.

Au delà de 350° comme température de la vapeur, les anneaux de carbone résistent mal. La combinaison des deux systèmes doit permettre d'obtenir une étanchéité irréprochable et durable, même aux températures supérieures.

Les garnitures d'étanchéité entre étages de pression sont ordinairement constituées de lamelles de cuivre ou de laiton encastrées dans les diaphragmes et réglées à une faible distance de l'arbre.

La régulation n'est pas encore réalisée de la même façon par tous les constructeurs. Le mode d'action le plus simple, d'ailleurs aussi satisfaisant que possible, est de régler par étranglement de la vapeur à l'entrée de la turbine au moyen d'une soupape équilibrée spéciale. Un certain nombre de systèmes comportent, outre cet étranglement jusqu'à une certaine puissance, un jeu de soupapes à ouverture ou fermeture automatique suivant la charge.

Ces dispositifs sont actionnés par un servomoteur à huile sous pression placé sous la dépendance directe d'un régulateur à force centrifuge. Quelquefois celui-ci, de très faibles dimensions, agit par l'intermédiaire d'un deuxième relais. Le régulateur, ainsi qu'un tachymètre, sont entraînés, à vitesse réduite, par l'arbre de la turbine au moyen d'engrenages hélicoïdaux.

On arrive ainsi à une régulation presque parfaite de la vitesse à charge constante, et on limite à 5 p. 100 la variation de vitesse en cas de décharge brusque et totale.

Toutes les turbines comportent, en outre, un dispositif d'arrêt rapide permettant de fermer instantanément, d'un coup de poing, l'arrivée de vapeur, et un limiteur de vitesse réalisant cette fermeture automatiquement en cas d'emballement.

Le graissage des turbines un peu importantes se fait toujours à l'huile sous pression. La pression varie de 0,05 à 1,5 kg : cm². Généralement les pompes à huile employées sont du type à engrenages, actionnées par l'arbre même du régulateur. Une pompe auxiliaire à vapeur permet le graissage pendant la mise en marche et l'arrêt de la turbine.

A sa sortie des paliers, l'huile passe dans un réfrigérant tubulaire à eau où elle se refroidit suffisamment pour pouvoir servir à nouveau au graissage, qui s'effectue en circuit fermé. La consommation d'huile est ainsi extrêmement faible. La même huile arrive à servir plus de 20.000 heures, avec une compensation des pertes ne dépassant pas 25 p. 100 du volume primitif.

On a commencé à utiliser, dans les grosses turbines, l'eau condensée pour la réfrigération de l'huile. Il y a là une légère récupération de calories, avec l'avantage de ne pas encrasser les réfrigérants.

La qualité d'une turbine est définie par le rapport du travail mécanique obtenu réellement sur l'arbre au travail pouvant théoriquement être obtenu, dans une machine parfaite, étant données les caractéristiques de la vapeur employée et le degré de vide. Dans les petites turbines, ce rendement n'est guère que de l'ordre de 60 p. 100. Dans les turbines de très grande puissance, on atteint actuellement 84 à 85 p. 100.

O. Condensation. — Après s'être détendue dans la turbine en fournissant du travail, la vapeur passe au condenseur, où elle reprend instantanément l'état liquide, grâce à l'intervention d'une masse suffisante d'eau froide qui absorbe la chaleur dégagée par ce changement d'état.

Les condenseurs à mélange, dans lesquels la condensation se fait par contact direct de l'eau et de la vapeur, ne sont pour ainsi dire pas employés avec les turbines importantes. Ils donnent un vide moins bon et, d'autre part, l'eau distillée est perdue pour les chaudières.

Dans les condenseurs à surface, au contraire, la cession de chaleur se fait au travers d'un faisceau tubulaire constitué de tubes de laiton minces et nombreux. La vapeur se

condense à l'extérieur des tubes, l'eau réfrigérante circule à l'intérieur. L'eau condensée peut être recueillie et renvoyée aux chaudières.

Le vide atteint dans un condenseur a pour limite maximum la valeur correspondant à la tension de la vapeur d'eau saturée à la température d'entrée de l'eau froide. Le vide réel sera d'autant plus rapproché de cette limite que le volume d'eau consacré à la condensation sera plus grand, si le condenseur est bien établi.

Un vide poussé ayant une grande importance pour la consommation de vapeur des turbines, on admet actuellement des coefficients très élevés pour la dépense d'eau de condensation.

Avec les condenseurs à mélange on dépensait 40 à 45 kg d'eau par kilogramme de vapeur à condenser. Avec les condenseurs à surface, on adopte rarement moins de 60 kg d'eau de circulation par kilogramme de vapeur à condenser. Le travail de pompage supplémentaire nécessité par cet excès d'eau est largement récupéré.

Bien entendu, l'eau de circulation doit être aussi froide que possible. La solution la plus favorable, quand on peut l'adopter, est d'emprunter cette eau à une rivière, et de la lui restituer par siphonnement. Le travail de la pompe de circulation est alors réduit au minimum.

Quand on ne peut utiliser ni une rivière, ni aucune autre source froide (puits, drains, etc.), il faut se résigner à employer toujours la même eau de circulation, aux pertes près. On refroidit l'eau par ruissellement dans de grandes tours réfrigérantes en bois, d'où elle est reprise par la pompe de circulation.

L'eau provenant des réfrigérants donne toujours un vide moins bon que l'eau de rivière. Ces appareils ont d'autres inconvénients : ils sont très coûteux d'installation, exigent plus de force motrice pour la circulation, et conduisent quelquefois à des incrustations dans les condenseurs.

Le faisceau tubulaire d'un condenseur est contenu dans une enveloppe généralement cylindrique, en tôle ou en fonte, parfaitement étanche et assemblée à la culotte d'échappement de la turbine. Les tubes sont fixés à chaque extrémité dans une plaque tubulaire. Le plus souvent ils sont mandrinés à un bout et traversent librement la plaque à l'autre extrémité, à travers un presse-étoupe. Certains constructeurs font encore des presse-étoupe aux deux bouts du tube. Cela paraît coûteux et non indispensable.

La tendance actuelle est de choisir des tubes très petits comme diamètre. On descend parfois à 16 mm, on ne dépasse plus guère 25 mm comme diamètre intérieur. L'épaisseur est maintenant presque toujours de 1 mm. Les tubes sont en laiton.

L'étanchéité des condenseurs pendant le fonctionnement est d'une extrême importance pour la bonne marche de la chaufferie, puisque l'eau condensée est reprise pour les chaudières; aussi ne saurait-on y apporter trop de soin. Les mandrinages sont en principe étanches, mais les presse-étoupe, étant très petits, sont délicats. On choisit comme garniture du caoutchouc, ou des tresses de chanvre ou de coton imprégnées d'huile de lin, ou de suif ou de paraffine, comprimés par un écrou annulaire. Une bonne exécution est indispensable, les presse-étoupe étant soumis à l'extérieur à la pression de l'eau de circulation et, à l'intérieur, au vide presque absolu.

On arrive actuellement à faire des condenseurs de très grandes dimensions, ayant jusqu'à 4.000 ou 5.000 m^2 de surface, et condensant 150.000 à 200.000 kg de vapeur à l'heure.

Quant aux progrès réalisés dans la construction depuis une dizaine d'années, les chiffres suivants en donneront une idée : à 1 m^2 de surface de condenseur correspondait une puissance de 3 à 4 kW. Aujourd'hui, toutes conditions égales, à 1 m^2 correspondent 8 à 10 kW avec un vide meilleur.

L'eau froide est refoulée à travers le faisceau tubulaire par une pompe de circulation, toujours centrifuge, et actionnée le plus souvent par accouplement direct avec un moteur électrique. Une excellente solution, pour les centrales possédant des turbines impor-

tantes, est d'actionner soit directement, soit par réducteur de vitesse à engrenages, la pompe de circulation par une petite turbine à vapeur échappant soit dans la turbine principale, soit à son condenseur. On réalise ainsi l'indépendance d'un auxiliaire essentiel.

Le trajet de l'eau de circulation dans le condenseur dépend de la vitesse qu'on veut réaliser dans les tubes. Une certaine vitesse est désirable pour favoriser la transmission des calories et éviter les dépôts de boues sur les tubes, qui diminuent rapidement le vide. Avec une vitesse d'eau de 1,50 à 2 m : s, on peut arriver à ne pas salir intérieurement les tubes, même avec des eaux boueuses, et on évite ainsi des nettoyages de condenseurs pénibles pendant lesquels les groupes sont immobilisés.

Bien entendu, cette vitesse de circulation nécessite un peu plus de travail de la pompe de circulation. Elle détermine le nombre de trajets ou parcours aller et retour de l'eau à travers le condenseur. Les condenseurs sont quelquefois à un seul parcours, ils sont rarement à plus de quatre parcours.

Le maintien en bon état de propreté des tubes d'un condenseur a une importance capitale pour l'obtention d'un bon vide. Dans certains cas, les tubes ont tendance à se salir, non pas seulement par des dépôts boueux, mais aussi par des incrustations adhérentes. C'est le cas, notamment, dans les installations à réfrigérants d'eau de circulation, lorsqu'on ne dispose pas de bonne eau de réparation.

On peut remédier à cet inconvénient en ajoutant à l'eau de circulation, soit par intervalles, soit d'une manière continue, de faibles doses d'acide chlorhydrique, exactement calculées pour éviter l'attaque des tubes.

Pour maintenir le vide dans un condenseur, il faut en extraire les gaz, que la réfrigération ne saurait éliminer. C'est le rôle de la pompe à air, autre organe essentiel d'une condensation. Ces gaz proviennent, soit de la vapeur (air en dissolution dans l'eau d'alimentation), soit des rentrées d'air des parties de la turbine et du système de condensation qui sont soumises au vide.

Les pompes à air des turbo-alternateurs, alors même qu'il s'agissait d'unités puissantes, étaient autrefois à piston. L'élégante pompe rotative Leblanc devint ensuite l'extracteur d'air normal des condenseurs. Depuis quelque temps, l'emploi des éjecteurs à vapeur ou des trompes à eau s'est progressivement développé. A l'heure actuelle, la pompe à air d'un turbo-alternateur, même de grande puissance, n'est plus qu'un appareil peu encombrant et peu coûteux comme fonctionnement.

On extrait l'air dans la partie la plus froide du condenseur, où il est le plus réduit comme volume et où il n'est chargé de vapeur qu'au minimum. Une petite partie du faisceau tubulaire est même consacrée plus spécialement à ce refroidissement de l'air.

Nous avons mentionné, en parlant de la chaufferie, des dispositifs nouveaux destinés à dépouiller l'eau d'alimentation des gaz qu'elle contient. Signalons en passant qu'il peut en résulter pour les condenseurs une amélioration du vide.

Le coefficient de transmission des calories à travers les tubes de condenseurs, en effet, dépend essentiellement de la tension propre de l'air dans le condenseur. Il peut varier dans le rapport de 1 à 5, suivant qu'il y a beaucoup ou peu de gaz non condensables.

L'évacuation de l'eau condensée provenant de la vapeur doit être faite constamment, pour ne pas perdre de surface réfrigérante. C'est le rôle de la pompe d'extraction, actuellement presque toujours centrifuge, et entraînée, soit par le même moteur que la pompe de circulation, soit par un moteur électrique séparé. La pompe d'extraction doit être toujours en charge sur le condenseur car il s'agit d'une fonction délicate. Même quand cette charge est d'un mètre, la pompe travaille sous une aspiration d'environ 9 m, ce qui commande certaines précautions. Aussi est-il recommandable, pour les groupes importants, de prévoir deux de ces pompes, ce qui est relativement peu coûteux.

Pour définir le vide existant dans une condensation, il est nécessaire de convenir du

point où l'on mesure ce vide : le point qu'il est rationnel de choisir est la calotte d'échappement de la turbine.

Quant à la grandeur mesurée, ce peut être ou la différence existant entre la pression en ce point et la valeur de la pression atmosphérique extérieure, variable avec le temps, ou la différence existant entre la pression en ce point et la pression atmosphérique conventionnelle, dite normale, de 760 mm de mercure. Dans le premier cas, pour évaluer la pression absolue existant au condenseur, il ne faut pas oublier de tenir compte de la valeur de la pression atmosphérique réelle, qui subit en un même lieu des variations de l'ordre de 50 mm de mercure. Dans le second cas, la pression absolue au condenseur est le complément à 760 du nombre de millimètres de mercure indiqué comme mesurant le vide.

On peut aussi évaluer le vide en tant pour cent du vide absolu en convenant que le vide nul correspondrait à la pression atmosphérique normale de 760 mm de mercure.

De toute façon, il est toujours nécessaire de contrôler en permanence les indicateurs de vide métalliques par des manomètres à mercure.

On se contentait autrefois dans les condenseurs d'un vide de 90 à 91 p. 100. Il est rare qu'on prévoie aujourd'hui, sauf dans le cas où il est fait usage de réfrigérants, moins de 96 p. 100, et on va quelquefois jusqu'à 98 p. 100.

Le tableau ci-après montre l'importance du vide sur la consommation de vapeur. Il donne les valeurs du rendement thermique d'une même turbine recevant, à l'admission, de la vapeur à 15 kg : cm² de pression et 350° de température et fonctionnant sous différents vides. Le rendement mécanique de la turbine est supposé égal à 80 p. 100.

Vide en p. 100.	Rendement thermique R.	Rapport $\frac{R}{R_0}$.
—	—	—
98	$R_0 = 0{,}277$	1
97	0,266	0,96
96	0,257	0,928
95	0,250	0,903
94	0,245	0,885
92	0,236	0,852
90	0,230	0,831

Ainsi donc, en prenant comme point de comparaison le vide à 98 p. 100, on perd sur la consommation :

7,2 p. 100 en marchant à 96 p. 100 de vide.
11,5 — — à 94 — —
14,8 — — à 92 — —

Ces chiffres montrent bien l'importance capitale d'une bonne condensation.

P. Les prélèvements de vapeur. — En étudiant les cycles des machines à vapeur, on est frappé de voir combien est grande, par rapport au travail produit, la quantité de chaleur (dégradée il est vrai, c'est-à-dire à basse température) qui est versée au condenseur et qui est perdue.

La thermodynamique assigne une limite supérieure au rendement d'une machine quelconque fonctionnant entre les températures extrêmes θ (admission) et θ' (condenseur). C'est le rapport $\frac{\theta - \theta'}{\theta + 273}$, rendement du cycle de Carnot correspondant à ces températures.

Pour augmenter le rendement du cycle des turbines, on devra, d'une part, agir sur les constantes θ et θ'. Ensuite, on fera tous ses efforts pour se rapprocher du cycle de Carnot. Voici un moyen efficace d'arriver à ce dernier résultat.

Dans une turbine ordinaire, on extrait l'eau distillée du condenseur à une température de 25 à 30°, et on la renvoie aux chaudières. Imaginons qu'au lieu de cela, on prélève à chaque étage de pression de la turbine une certaine quantité de vapeur, qu'on emploie

à réchauffer progressivement l'eau d'alimentation. Celle-ci aura pris à la fin de l'opération une température élevée, voisine de la température de saturation correspondant à la pression au premier étage. On pourrait penser *a priori* que ce réchauffage ne présente pas d'intérêt au point de vue thermodynamique. Ce serait une erreur.

Il est facile de démontrer que, pour une turbine parfaite fonctionnant à la vapeur saturée, ce réchauffage, supposé réalisé par un nombre infini de prélèvements élémentaires étagés, aurait pour effet d'amener le rendement du cycle à être égal au rendement du cycle de Carnot correspondant, c'est-à-dire à atteindre le maximum possible.

L'accroissement du coefficient économique du cycle est d'ailleurs d'autant plus grand que la pression initiale de la vapeur employée (pression aux chaudières) est plus élevée. On peut en juger par les chiffres du tableau ci-après qui donne les rendements théoriques, sans réchauffage ou avec réchauffage parfait, pour différentes pressions initiales de vapeur saturée, et pour un même vide final (97 p. 100). Le rendement désigné ci-après par r est celui du cycle de Rankine, celui désigné par R est celui du cycle de Carnot.

Pression de vapeur.	Rendement théorique sans réchauffage r.	Rendement théorique avec réchauffage R.	Rapport $\frac{R}{r}$.
10 kg : cm²	0,309	0,340	1,10
15 —	0,328	0,368	1,12
20 —	0,341	0,385	1,13
25 —	0,351	0,398	1,135

Ci-dessous voici le même tableau poussé jusqu'à la pression de 100 kg : cm².

35 kg : cm²	0,369	0,421	1,14
50 —	0,383	0,443	1,16
100 —	0,390	0.489	1,25

On voit que l'élévation du timbre présente, outre les avantages déjà signalés plus haut, celui d'accentuer la majoration dont le rendement est susceptible, grâce au réchauffage méthodique maintenant envisagé.

Lorsqu'il s'agit d'une turbine alimentée au moyen de vapeur surchauffée, la série complète des prélèvements comprend, en allant de l'amont à l'aval de la turbine, d'abord des prélèvements en vapeur de moins en moins surchauffée, puis d'autres en vapeur sèche ou humide. Le rendement théorique du cycle est alors moins simple à calculer que dans le cas précédent, mais le résultat est du même ordre.

Si, enfin, au lieu d'envisager une machine théorique parfaite avec des prélèvements en nombre infini, on considère une turbine réelle avec des prélèvements à tous ses étages de pression, le calcul donne des chiffres encore assez peu différents.

Dans le cas où l'on n'opère pas des prélèvements à tous les étages, mais seulement un petit nombre de prélèvements à quelques étages judicieusement choisis, l'augmentation du coefficient économique du cycle est naturellement moindre que dans le cas où le système est appliqué dans des conditions plus voisines de la conception théorique, mais elle reste intéressante. Il importe de noter à ce sujet que, pour un même poids de vapeur prélevée, l'effet du réchauffage sur le coefficient économique du cycle est d'autant plus accusé qu'il s'agit d'un étage plus rapproché du condenseur et que, par suite, la vapeur que l'on prélève a déjà fourni plus de travail.

Considérons par exemple une turbine moderne fonctionnant avec de la vapeur à 25 kg : cm² surchauffée à 400°. Cette turbine aura par exemple dix étages.

Un prélèvement unique, effectué au 9e étage et soutirant 3,9 p. 100 du poids de la vapeur entré dans la turbine, suffira à élever à la température de cet étage la totalité de l'eau condensée et augmentera le rendement du cycle de 2,5 p. 100. Température de l'eau échauffée, 45°.

Deux prélèvements, l'un au 8e, l'autre au 9e étage, ensemble 7,6 p. 100 du poids de vapeur entré dans la turbine, donneront une augmentation de 4,4 p. 100. Température de l'eau échauffée, 65°.

Trois prélèvements, aux 7e, 8e et 9e étages, ensemble 10,27 p. 100 du poids de vapeur entré dans la turbine, donneront une augmentation du rendement du cycle égale à 6,2 p. 100. Température de l'eau échauffée, 85°.

On fera, et on a déjà fait à ce procédé de réchauffage de l'eau d'alimentation, l'objection que, lorsque cette eau sort froide de la turbine, on met à profit sa basse température initiale pour récupérer méthodiquement, au moyen d'économiseurs, une partie de la chaleur sensible des gaz provenant des chaudières proprement dites. Cette objection ne tient pas, attendu qu'on peut récupérer cette chaleur sensible pour d'autres usages, par exemple pour réchauffer l'air comburant avant de l'envoyer sous les grilles des chaudières.

Si l'on compare en eux-mêmes, et pour un même réchauffage de l'eau d'alimentation, les deux procédés, à savoir d'une part l'emploi d'économiseurs et d'autre part le réchauffage à la turbine au moyen de prélèvements de vapeur, on remarque qu'il est plus rationnel de réchauffer de l'eau à 25° avec de la vapeur à 45°, de l'eau à 45° avec de la vapeur à 65°, etc., que de chauffer cette même eau avec des gaz ayant des températures à 150°. En outre, il est plus intéressant de réaliser la transmission de chaleur dans un faisceau tubulaire en laiton mince, à grand rendement, travaillant avec deux fluides purs, que dans un faisceau tubulaire en acier ou en fonte, n'ayant pas toujours un bon coefficient de transmission.

Enfin, le réchauffage par prélèvements de vapeur a, pour les turbines mêmes, quelques avantages spéciaux dont il sera parlé ci-après.

Il paraît donc nettement préférable de confier à la turbine le soin de réchauffer partiellement ou totalement l'eau d'alimentation, ce qui la rapprochera de la perfection, et de chercher à faire de la chaudière un appareil plus autonome, se suffisant à lui-même comme récupération, par exemple, en développant les réchauffeurs d'air de combustion. Nous avons dit plus haut les avantages propres du réchauffage de l'air.

Une conséquence des prélèvements de vapeur dans la turbine, est qu'on peut réduire la surface du condenseur, et cela d'autant plus que le prélèvement est plus important.

Soit, par exemple, le cas de la turbine à dix étages, fonctionnant à 25 kg : cm² et 400°, dont il a été question plus haut. Avec les prélèvements complets à neuf étages, l'accroissement du coefficient économique du cycle sera d'environ 14 p. 100. Le poids total de la vapeur prélevée sera de 30 p. 100, de sorte que 70 p. 100 seulement arriveront au condenseur. Celui-ci pourra donc être diminué comme surface ; toutefois, la diminution ne sera que de 20 p. 100 et non de 30 p. 100, car il faut rapporter la surface du condenseur à la puissance fournie par la machine.

A dire vrai, la réduction opérée sur la surface du condenseur sera plus que compensée par la surface des réchauffeurs mettant en œuvre les prélèvements. Si l'on admet, en effet, le même coefficient de transmission que dans le condenseur, l'ensemble de la surface d'échange devra être supérieur de 30 p. 100 dans le cas du réchauffage. La récupération coûte donc une surface complémentaire.

Par contre, l'économie sur l'eau de condensation et le travail de la pompe de circulation due au réchauffage sera effectivement de 20 p. 100.

Un autre avantage pouvant résulter pour la construction des turbines des prélèvements de vapeur sera le suivant :

La puissance de turbine réalisable en un seul corps pour une vitesse donnée est limitée, comme nous l'avons dit, par la hauteur qu'il faut donner aux ailettes des aubages de basse pression pour ne pas perdre trop sur le rendement par vitesse restante à la sortie de la dernière roue. Or, avec le réchauffage il arrivera, pour la pression de 25 kg : cm², 20 p. 100 de vapeur en moins au condenseur, qui ne passera pas dans le dernier élément

de la turbine. Il y a donc possibilité, ou d'améliorer le rendement de cet élément, ou de reculer la limite de puissance réalisable pour une vitesse donnée.

Nous pensons avoir, dans ce qui précède, suffisamment fait ressortir l'intérêt que présente le réchauffage de l'eau d'alimentation par prélèvements de vapeur. La question de l'application de ce mode de réchauffage aux turbines aurait été, sans la guerre, posée en France dès 1914. Des applications partielles y sont en cours d'exécution, notamment pour la centrale de Gennevilliers. En Angleterre et en Allemagne, des applications partielles sont à l'étude. En Amérique, on paraît s'être orienté, jusqu'à ces derniers temps, dans une voie différente, d'ailleurs moins économique : l'actionnement des auxiliaires de la centrale par des turbines à contre-pression, condensant leur vapeur dans l'eau d'alimentation.

Depuis de longues années déjà, on utilisait pour faire du chauffage, dans certaines machines à piston compound, des prises de vapeur au receiver, ou la vapeur d'échappement de machines à contre-pression. Il convient de noter la grande différence qui existe entre ces applications et le réchauffage progressif de l'eau d'alimentation préconisé ci-dessus, qui tend à faire de la turbine à vapeur un appareil méthodique et complet.

Évidemment, dans l'état actuel des choses, on se bornera, pour les premières applications, à faire deux ou trois prélèvements aux étages inférieurs, qui sont, d'ailleurs, comme nous l'avons dit, les plus intéressants comme bénéfice. Cela permettra de continuer à employer l'économiseur à eau en même temps que le réchauffeur d'air. Mais on peut penser que, dans les centrales futures, l'importance des réchauffeurs à prélèvements augmentera au détriment de celle des économiseurs, ces derniers étant de plus en plus remplacés comme récupérateurs, à la suite des chaudières, par les réchauffeurs d'air. L'évolution sera d'autant plus rapide que l'on s'orientera plus nettement vers des pressions élevées.

La construction des réchauffeurs d'eau d'alimentation, destinés à la mise en œuvre des principes qui viennent d'être développés, ne comporte aucune difficulté spéciale. On peut opérer par mélange ou par surface. C'est le réchauffeur à surface qui semble vouloir être adopté, car il dispense d'avoir à se préoccuper des différences de pression entre la vapeur et l'eau. Cet appareil sera construit à la façon d'un condenseur par surface, et on devra y prévoir, notamment, l'évacuation méthodique de l'eau condensée et de l'air.

Avec une disposition convenable des appareils, on peut penser que le rendement mécanique de la turbine ne sera pratiquement pas affecté par l'adjonction du système de réchauffage.

Q. Alternateurs. — Dans la grande majorité des cas, les turbines à vapeur actionnent directement des alternateurs, le courant alternatif à haute tension étant devenu la forme normale de production de l'énergie électrique.

Le stator porte toujours l'enroulement induit à haute tension. Sa carcasse est en fonte, enserrant les tôles magnétiques disposées par paquets. Les barres de l'induit, isolées dans des capotes en mica, sont logées dans des encoches ouvertes ou fermées. Les parties frontales de l'enroulement sont très solidement calées sur des soutènements nombreux, pour rester le plus possible indéformables, les courts-circuits y développent des efforts considérables.

Le rotor constitue l'inducteur. Il est en tôles assemblées normalement à l'arbre jusqu'à 1.500 tours par minute. Pour les vitesses plus grandes, il est d'une seule pièce, les encoches étant fraisées dans la masse. Les conducteurs sont empilés dans les encoches et fortement calés. Les parties frontales de l'enroulement sont maintenues dans des calottes en acier. Le tout forme un ensemble extrêmement robuste se comportant très bien aux grandes vitesses. Jusqu'à présent, cependant, on ne dépasse guère 250 V comme tension de l'inducteur, en raison des difficultés d'isolement dues à la rotation et à l'échauffement.

Les paliers en rotor sont graissés à l'huile sous pression par le service d'huile de la turbine.

Le courant continu alimentant le rotor lui est transmis par deux bagues isolées, en bronze ou en acier, calées sur l'arbre. Ce courant est fourni par une excitatrice en bout d'arbre ou par une source étrangère.

Dans tout ensemble à grande vitesse de rotation, composé d'une turbine et d'une génératrice d'électricité (qu'il s'agisse d'un alternateur ou d'une dynamo à courant continu), la partie électrique demande à être refroidie artificiellement, aussi bien pour le rotor que pour le stator. Jusqu'à présent, on emploie presque exclusivement le refroidissement par l'air, les ventilateurs nécessaires étant en général portés par l'arbre lui-même. La tendance est de plus en plus à filtrer l'air froid pour éviter d'encrasser la machine avec des poussières grasses pouvant nuire au refroidissement.

On commence à construire des génératrices dans lesquelles l'air de la ventilation se meut en circuit fermé, en abandonnant ses calories à chaque passage dans un réfrigérant tubulaire à circulation d'eau. Cette disposition est intéressante à plusieurs points de vue :

1° On travaille toujours avec de l'air propre;

2° En cas d'incendie, il y a extinction immédiate, le peu d'oxygène de l'air en circuit ne tardant pas à être transformé en CO^2;

3° Si l'on fait la réfrigération de l'air avec l'eau condensée provenant de la turbine à sa sortie du condenseur, on fait une légère récupération de calories (0,5 à 2 p. 100 suivant les cas).

On étudie d'ailleurs également la réfrigération directe du stator par une circulation d'eau dans des tubes en cuivre. Le problème est délicat. La question est déjà résolue pour les rotors, même lorsqu'il s'agit de puissantes machines à grande vitesse. Il existe à Newcastle, en service depuis plusieurs années, 5 groupes de 10.000 kW à 2.400 tours par minute, dont les rotors sont refroidis par une circulation d'eau condensée; ces groupes fonctionnent parfaitement.

Nous avons déjà dit à propos des chaufferies que l'utilisation de l'air chaud des alternateurs pour le soufflage des chaudières n'est pas toujours à préconiser dans l'organisation moderne d'une grande centrale. L'une des récupérations précédentes sera souvent préférable.

La construction des alternateurs a fait de grands progrès depuis une vingtaine d'années quant à la puissance unitaire. On atteint actuellement 40.000 kVA pour la vitesse de 1.500 tours par minute. Le rendement dans ces grosses unités atteint 97 à 98 p. 100.

Il reste encore des progrès à faire dans la construction et la pose des enroulements, la plus grande partie des accidents d'alternateurs provenant de défectuosités d'exécution. Jusqu'à nouvel ordre, il convient, pour se mettre à l'abri de ces inconvénients, de ne pas choisir une tension trop élevée pour les alternateurs : 6.000 V donnent actuellement une bonne sécurité de fonctionnement et il vaut mieux ne pas dépasser 15.000 V comme tension directe.

Un groupe de 35.000 kW fonctionnant à pleine charge, avec de la vapeur à 25 kg : cm^2 surchauffée à 375°, est livrée actuellement avec une garantie de 4,4 kg de vapeur, correspondant à 3.360 calories, par kilowat-heure aux bornes, ce qui équivaut à un peu plus de 3 kg de vapeur, ou 2.480 calories, par cheval-heure indiqué. Ce chiffre excellent montre les progrès réalisés depuis 1900, et nous avons vu dans ce rapport que des améliorations sont encore possibles.

Cependant les bonnes centrales actuelles, d'une certaine importance, équipées à la moderne et bien conduites, consomment rarement, en marche industrielle, moins de 1 kg de charbon par kilowatt-heure fourni aux barres du tableau, le charbon étant supposé avoir un pouvoir calorifique de 7.500 calories. C'est plus que le double du chiffre que l'on obtiendrait théoriquement en partant de celui qui vient d'être cité pour la consom-

mation d'un groupe. Il n'est pas inutile de donner les principales raisons de cet écart :

1° Le rendement des chaudières, même très perfectionnées, ne dépasse guère, dans les conditions d'essai les plus favorables, 85 p. 100. Il est, en pratique courante, notablement plus faible, car les surfaces ne peuvent guère être rigoureusement propres et l'allure ne peut pas toujours être celle qui correspondrait au meilleur rendement. Enfin il faut tenir compte des consommations pour rallumages, feux couverts, etc. ;

2° Il y a des pertes par rayonnement, condensations, fuites, etc., dans les tuyauteries;

3° Il est rare que les groupes fonctionnent juste à pleine charge, même pendant les heures les plus favorables. D'ailleurs, il y a beaucoup d'heures creuses où les machines sont peu chargées (midi, nuit, dimanches, etc.). Cet inconvénient est souvent aggravé par un *cos* φ défectueux du réseau, ce qui diminue en outre le rendement des alternateurs ;

4° Le fonctionnement de la centrale consomme une part non négligeable de l'énergie produite (généralement de 5 à 15 p. 100 suivant les cas). Cette énergie doit d'ailleurs presque toujours subir des transformations.

On conçoit donc que, malgré tous les efforts des exploitants des centrales, les consommations industrielles de charbon restent très éloignées de ce qui semblerait devoir résulter des chiffres des constructeurs de turbines. Une consommation de 1 kg de charbon par kilowatt-heure fourni doit être considéré comme étant encore une exception, se rapportant à des usines très puissantes brûlant du charbon excellent. Les chiffres réels sont souvent fort loin de cet idéal actuel, surtout dans les petites installations.

Il convient de rappeler ici qu'entre l'énergie fournie aux bornes de la centrale et celle réellement utilisée par la clientèle se placent encore les pertes de distribution et de transformation. Pour la haute tension, ces pertes restent le plus souvent comprises entre 3 et 10 p. 100. Pour la basse tension, elles sont rarement inférieures à 30 p. 100 et s'élèvent parfois à 58 p. 100. Ces chiffres élevés sont dus à la faible utilisation du courant de basse tension qui rend très lourdes les pertes permanentes des transformateurs.

Malgré ces pertes, l'électricité reste quant à présent le mode le plus souple, le plus pratique, le plus économique de distribution de l'énergie. Il n'est pas douteux que son emploi continue à se développer largement.

III. — Conclusions.

Nous terminerons ce travail par les conclusions suivantes :

I. — Une centrale à vapeur moderne, petite ou grande, est nécessairement un ensemble assez compliqué, dont on ne devra décider la création qu'après étude approfondie.

II. — En raison de cette complexité et de la rapidité d'évolution de la technique, il est prudent de consulter, pour les études de centrales, des spécialistes éprouvés, afin d'être sûr de réaliser dans chaque cas particulier l'usine la moins chère comme établissement, la plus moderne et la plus économique.

A ce point de vue, on peut désirer que réussissent, dans notre pays, des bureaux d'études de centrales spécialisés, comme il en existe en Angleterre et en Amérique, qui constituent par leur expérience un élément sérieux de perfectionnement.

III. — De grands progrès sont encore possibles en ce qui concerne l'économie du combustible. Parmi les principaux, citons :

L'emploi de pressions de vapeur plus élevées ;

L'emploi d'une forte surchauffe ;

Le réchauffage de l'eau d'alimentation, notamment par des prélèvements de vapeur aux turbines ;

La récupération poussée à l'extrême de toutes les chaleurs perdues.

Il est permis d'espérer, de l'application plus ou moins complète de ces perfectionnements, une économie de combustible de 20 à 40 p. 100 par rapport à celle des bonnes centrales actuelles, toutes choses égales. Il s'impose que l'on soit, en France, où la production des mines de combustible est inférieure aux besoins du pays, à la tête du progrès dans cette voie.

IV. — Il est désirable, pour favoriser ce mouvement, que l'État et les grands groupements industriels provoquent et subventionnent des travaux des physiciens et des savants, en vue de poursuivre l'étude expérimentale des propriétés de la vapeur d'eau jusqu'aux pressions et aux températures de surchauffe les plus élevées.

Le rapporteur,
E. RAUBER.

Vu :
Le président de la 1re Sous-Commission,
LOIRET.

CONGRÈS DE LA PLUS GRANDE FAMILLE

(Paris, 30 mai — 1er juin 1921.)

Les carrières féminines.

Les « journées familiales » de La Plus Grande Famille ont eu lieu les 30, 31 mai et 1er juin, au siège de la Société d'Économie sociale (54, rue de Seine, Paris) sous la présidence de M. Auguste Isaac, ancien ministre du Commerce. Le sujet traité dans ces journées était celui des carrières féminines. La Plus Grande Famille (1) qui est une association des pères de famille ayant cinq enfants au moins et qui étudie chaque année une question intéressant les pères de famille, avait choisi pour 1921 l'étude des carrières des jeunes filles; elle avait estimé que les difficultés du mariage qui existent pour tant de jeunes filles et les essais faits, pendant la guerre et depuis, pour trouver une voie aux femmes dans les diverses professions rendaient cette étude très opportune.

Le succès de ces « journées familiales » a montré que ces prévisions étaient exactes. L'enquête qui, pendant près d'un an, avait précédé le Congrès, et qui avait touché, non seulement, les pères de familles mais toutes les personnes les plus compétentes en fait de carrières de jeunes filles, a mis en évidence des conclusions et des principes très nets qu'il est utile de présenter aux pères de familles. En raison de l'intérêt qu'ont présenté les débats, le compte rendu du Congrès sera publié sous forme de tirage spécial et très largement répandu.

Avant la guerre, les femmes qui avaient besoin de gagner leur vie avaient cherché une place dans les différentes professions occupées déjà par les hommes. L'expérience faite au cours de la guerre et le simple bon sens montrent que les carrières dans lesquelles les jeunes filles et les femmes sont appelées à réussir sont celles où le tempérament et les qualités féminines leur donnent une supériorité sur les hommes. Telle est la conclusion très nette qui ressort du Congrès. Toutes les carrières qui ont été recommandées sans réserve aux jeunes filles sont celles auxquelles le tempérament féminin les prépare spécialement; toutes celles qui ont été déconseillées sont, en général, des carrières où l'homme réussit mieux.

L'enquête a permis de classer de la façon suivante les carrières à recommander aux jeunes filles :

A. Les carrières où la femme doit jouer, dans un domaine plus large, un rôle à peu près analogue à celui qui l'attend dans une famille nombreuse. Tel est le rôle des surintendantes d'usines, des directrices de crèches, d'orphelinats, d'œuvres sociales. Elles exigent des aptitudes générales et sont réservées à une élite.

B. Les carrières d'enseignement, où la femme trouve à employer ses qualités de patience, d'intelligence et de sensibilité. C'est spécialement l'enseignement des tout petits, les classes enfantines, et même les classes d'enseignement secondaire et primaire pour filles et garçons.

C. Les carrières d'infirmières, où la femme donne au public les soins dont elle

(1) Siège social, 24 rue du Mont-Thabor, Paris.

entoure, en cas de besoin, ses enfants et les personnes vivant à son foyer. La femme peut être ainsi : infirmière visiteuse, directrice de clinique, de dispensaire; elle peut devenir sage-femme. Ces carrières exigent du sens pratique et du sang-froid.

D. Les carrières où la femme établit des relations ou sert d'intermédiaire et d'auxiliaire à une autorité principale, telles que les secrétariats, les services de documentation et d'information, les bibliothèques, les postes et téléphones, les postes de clercs de notaire, les positions commerciales dans lesquelles on est en contact direct avec la clientèle, telles que celle de pharmacien. L'inspection du travail se rattache à ces professions.

E. Les services industriels dans lesquels il s'agit de surveiller les dépenses et qui exigent de l'autorité, de l'ordre, de l'économie. Ce sont : les économats, les services d'entretien du matériel, la direction des services intérieurs d'une exploitation agricole, la direction des hôtels et des pensions de famille.

F. Enfin, les fabrications délicates, dans lesquelles il s'agit de combiner des documents artistiques plutôt que de les inventer. Ce ne sont pas les carrières du grand art; c'est : la mode, l'ornementation, la décoration, la restauration d'objets d'art, la broderie, la tapisserie. Elles exigent une habileté manuelle et une éducation artistique.

Ces conclusions générales ont été corroborées par les rapports et les discussions auxquels ils ont donné lieu. Citons, à titre de renseignements, les carrières qui ont été plus spécialement étudiées :

Carrières de l'enseignement libre (Mlle Gastowtt, professeur à l'Institut normal Sainte-Geneviève (filles) et à l'Institut Pierre de Luxembourg (jeunes gens);

Carrières de l'enseignement officiel (Mlle de Coubertin, présidente de l'Association Fénelon) avec leurs débouchés accessoires tels que l'École des Chartes, les laboratoires de chimie, etc.;

Carrières d'infirmières, d'infirmières-visiteuses (Mme Lecomte, infirmière-visiteuse);

Surintendantes d'usines (Mme Jacob, directrice de l'École des Surintendantes);

Carrières du droit (Mlle Moreau, avocat à la Cour d'Appel de Paris);

Carrières agricoles (Mlle Thome, directrice de l'École d'Agriculture de Belleville);

Carrières de l'enseignement ménager (M. Toussaint, avocat à la Cour d'Appel de Paris);

Carrières industrielles (secrétaires, aides de laboratoire, dessinatrices, etc.) (Mme Jean Laurent, directrice de l'École d'Enseignement technique féminin);

Secrétariats d'usines et secrétariats sociaux (Mlle Pimer, directrice du Collège d'Hulet, et Mlle Butillard, directrice de l'École sociale catholique);

Carrières administratives (M. Gauthier, chef de l'Office central de la Main-d'œuvre au Ministère du Travail);

Carrières de la médecine (Docteur Okinczyc, professeur à la Faculté de Médecine de Paris, chirurgien des Hôpitaux).

Voici, à titre d'exemple, les conclusions du rapport concernant la *médecine*,

parce que ces conclusions ont été particulièrement précises sur ce sujet très controversé. Le professeur Okinczyc, qui s'occupe à Paris de l'Association Pasteur (Association des Étudiantes en Médecine) et le professeur Arnauzan, de Bordeaux, qui, lui aussi, a spécialement étudié la question pour le Cercle d'Étudiantes de Bordeaux dont il s'occupe, ont proposé indépendamment des conclusions identiques qui ont été unanimement adoptées : la carrière médicale n'est pas à recommander aux jeunes filles, spécialement parce qu'elle exige des études très dures, très longues et une résistance physique qui ne correspond pas généralement au tempérament féminin. Par contre, lorsque des jeunes filles ont pris la décision de faire leur médecine, il convient de leur faire faire des études complètes, dans le même service que les étudiants masculins, mais en organisant pour elles des cercles, foyers,... leur permettant de résister à l'ambiance, et de trouver un réconfort dans leurs difficiles études. La spécialisation, qui est possible et avantageuse pour les femmes, n'est à recommander qu'après des études complètes.

Les jeunes filles peuvent d'ailleurs trouver, après des études sérieuses d'infirmières, des postes d'auxiliaires intéressants, soit dans les laboratoires, soit dans les services de cliniques.

Le Congrès de La Plus Grande Famille aura donc été fort utile pour retirer des expériences faites pendant la guerre des conclusions précises ; il a permis d'étudier en détail les carrières nouvelles, la plupart créées par la guerre (secrétariats industriels, surintendantes d'usines, direction de foyers, bibliothèques, etc.); et il a montré qu'elles sont très favorables aux jeunes filles; leur préparation est relativement facile; elles conviennent parfaitement au tempérament de la femme.

M. L.

Les conclusions qui précèdent ne doivent pas laisser les industriels indifférents. Elles leur montrent dans quelle voie ils peuvent et doivent chercher utilement pour s'adjoindre des collaboratrices. M. L. de Launay, dans un livre paru avant la guerre (1), a montré qu'on ne pourra remédier à la disette de main-d'œuvre provoquée par la disparition ou la diminution de la capacité de travail d'un grand nombre d'hommes vigoureux, actifs et entreprenants, que par les moyens suivants :

1° une meilleure utilisation de la main-d'œuvre masculine. Les ouvriers français devront être de plus en plus d'une formation intellectuelle plus développée qu'avant la guerre; ils devront s'adonner à des tâches plus difficiles, plus délicates, plus raffinées, et abandonner le gros œuvre à des étrangers, des exotiques;

2° l'emploi des femmes, là où elles s'acquittent aussi bien ou mieux que les hommes des tâches qui étaient généralement confiées aux hommes avant la guerre;

3° le recrutement de la main-d'œuvre étrangère pour tous les travaux confiés à des manœuvres.

M. de Launay indiquait que, logiquement, on doit employer ces trois moyens successivement dans l'ordre où ils viennent d'être énumérés. L'orientation rationnelle de l'activité féminine s'impose donc, et l'on doit savoir gré à La Plus Grande Famille d'avoir étudié si soigneusement cette question. Dans l'industrie, sauf quelques rares exceptions, il ne semble pas que la femme puisse remplacer avantageusement l'homme ailleurs que dans des postes subalternes où elles ne lui font vraiment pas concurrence. Tel est le cas, par exemple, des dessinatrices dans les bureaux, des secrétaires dans l'administration, d'aides dans les laboratoires.

(1) *Problèmes économiques d'après-guerre*, A. Colin, éditeur.

NOTES DU COMITÉ DES CONSTRUCTIONS ET BEAUX-ARTS

PAR

LE LIEUTENANT-COLONEL G. ESPITALLIER,
membre du Conseil.

Expériences d'incombustibilité des toitures en carton bitumé.

On serait tenté d'attribuer aux couvertures en carton bitumé une facilité d'inflammation susceptible de les rendre dangereuses pour les édifices voisins en cas d'incendie, et, bien que les constructeurs soient déjà fixés à cet égard, il n'était pas inutile d'instituer des expériences capables de rassurer le grand public tout au moins.

Ces expériences, le Syndicat professionnel des Fabricants de Carton bitumé français en a pris l'initiative récemment, et les résultats ne laissent pas d'être assez concluants. Il ne s'agissait pas d'ailleurs de prouver que ce matériau ne brûle pas, mais que son inflammabilité n'est pas grande et que sa combustion elle-même ne présente pas de réels dangers.

Il n'était pas inutile d'ailleurs que ces essais fussent comparatifs. Un bâtiment en briques fut donc divisé en cinq compartiments identiques de 3 m sur 3 m, avec 3 m également de hauteur, présentant chacune deux baies dans les parois opposées.

Les compartiments étaient couverts :

Le n° 1 d'ardoises;

Le n° 2 de carton bitumé posé sur voliges jointives et chevrons apparents;

Le n° 3, en tuiles mécaniques sur lattis et chevrons apparents;

Le n° 4, en carton bitumé, posé pour un versant, sur voliges et avec plafond au plâtre sous le chevronnage, et pour l'autre versant sur planches « litobia » (planches de plâtre armées de petits lattis en bois);

Le n° 5, en zinc n° 13 posé à dilatation sur voliges et chevrons apparents.

Dans chaque compartiment on disposa une égale quantité de bois pour former un bûcher auquel le feu fut mis le 14 avril 1921, par le service des pompiers, en présence d'une commission spéciale.

La toiture en zinc a été traversée par le feu au bout de 9 minutes et était rapidement détruite.

La toiture en ardoises était traversée au bout de 12 minutes; les bois de la toiture en tuiles s'embrasaient violemment, et l'une et l'autre de ces couvertures s'effondraient au bout de 36 minutes.

Au contraire, sous les toitures en carton bitumé, les fumées s'accumulaient, sans que le feu parvînt à se développer. Les bois apparents prirent feu et finirent

par s'effondrer; mais la partie protégée par un plafond résista complètement, aussi bien au foyer intérieur qu'aux flammes extérieures provenant des cases contiguës.

Ce résultat, qui pourrait sembler paradoxal, s'explique au contraire tout naturellement par la continuité de la couverture en carton bitumé qui empêche tout passage et tout appel d'air.

On pouvait craindre toutefois que des brandons tombant directement sur le carton n'y missent le feu. Un essai spécial a été fait en posant sur un toit ainsi recouvert des charbons incandescents qui ont brûlé le carton dans la partie qu'ils occupaient; mais la combustion s'est arrêtée quand, au bout de 5 minutes, le charbon a été consumé.

De même, sur un toit fortement chauffé par les foyers voisins, des brandons de paille ont été placés sur le carton lui-même et la flamme s'est éteinte dès que la paille a été consumée.

Il y a là une expérience fort curieuse et capable de réhabiliter le carton bitumé auprès des compagnies d'assurances.

Matériaux nouveaux et nouveaux modes de constructions de l'habitation.

Les besoins immenses qui se sont manifestés pour la reconstruction des usines, des maisons, des établissements agricoles dont les ruines couvrent le sol de nos départements envahis, ont suscité, dès l'armistice, des inventions nombreuses, soit pour la fabrication de matériaux nouveaux, soit pour les procédés de construction eux-mêmes.

A plusieurs reprises, la Société d'Encouragement a signalé les uns ou les autres.

Il semble bien d'ailleurs qu'en ce qui concerne plus particulièrement les matériaux, les inventeurs ont donné leur plus gros effort dès le début, en sorte qu'aujourd'hui on ne voit plus guère apparaître que des formes particulières, plus ou moins ingénieuses, des mêmes sortes de produits, tout spécialement des agglomérés et corps creux.

Tout n'est pas dit, au contraire, en ce qui concerne les modes de construction eux-mêmes, où il y a lieu de rechercher la rapidité et surtout l'économie de main-d'œuvre.

Nous voudrions aujourd'hui signaler un de ces procédés nouveaux et le très simple outillage qui permet de le pratiquer.

I. — **Procédés de la Société du Béton monolithe.** — On a fait des maisons en coulant du béton très fluide dans des moules métalliques enveloppant d'avance toutes les parois de la construction.

Ce procédé, s'il a des avantages, ne permet toutefois de réaliser que des murs pleins, d'assez faible épaisseur pour économiser la matière. Il nécessite en outre un matériel de moules considérable et d'un transport onéreux.

On tend de plus en plus, au contraire, à faire des murs creux, non pas seulement pour des motifs d'économie, mais parce qu'avec de faibles épaisseurs, grâce à l'interposition d'un matelas d'air mauvais conducteur, l'échange de température se fait mal entre l'extérieur et l'intérieur.

Les avantages de ce système sont si bien reconnus que certaines compagnies de

chemins de fer n'hésitent pas à les appliquer pour la construction de leurs maisons de gardes ou pour lè logement de leur personnel.

On peut bâtir de la sorte en y employant de la brique ; mais, le plus généralement, on se sert d'agglomérés en béton de mâchefer ou de gravier, où les deux parois sont soudées immédiatement à l'écartement voulu.

Il suffit que les blocs fabriqués d'avance ne pèsent pas plus de 25 kg pour être maniables, et les maçons les mettent en œuvre très rapidement.

C'est la solution à laquelle on a songé tout d'abord ; mais examinons la série d'opérations que cela comporte :

Moulage du bloc à terre ; démoulage et transport sur une plaque de fond jusqu'au

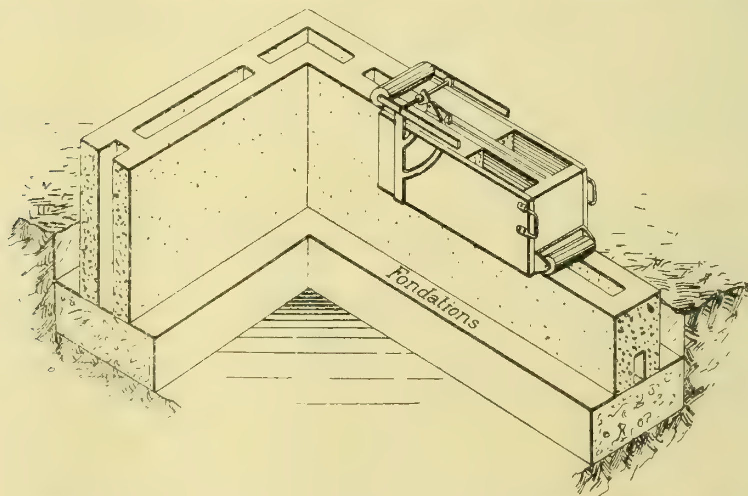


Fig. 1. — Vue schématique montrant le mode d'emploi du moule de la Société du Béton monolithe.

lieu de séchage, opération toujours assez délicate pour ne pas endommager le bloc frais.

Le séchage exige une période assez longue surtout si, par économie, la teneur en ciment n'est pas grande.

Il s'agit ensuite de reprendre ce bloc et de le monter à sa place où des maçons le mettent en œuvre.

Tout cela suppose : un matériel important de plaques de séchage ; un vaste emplacement de dépôt ; des reprises et des bardages nombreux ; une mise au levage et l'intervention de spécialistes de la maçonnerie, c'est-à-dire une double main-d'œuvre de fabrication et de maçonnerie.

Ne vaut-il pas mieux, au contraire, monter directement les matériaux et mouler le mur creux à sa place définitive ? La quantité de matériaux à élever est la même, mais on économise la main-d'œuvre du maçon et toutes les reprises, en même temps que l'on évite les chances d'écornures et de détériorations.

Voilà précisément ce qu'a cherché à réaliser la Société du Béton monolithe, grâce au petit outil que nous allons décrire et qui est une réduction rendue mécanique des *banches* usitées dans la région lyonnaise pour la construction des murs en pisé de mâchefer.

Supposons le mur creux monté et arrivé à une certaine hauteur; il s'agit de couler une assise nouvelle.

Sur la partie déjà faite, on établit (fig. 1 et 2) le moule dont les deux flasques ou joues latérales coiffent de 2 ou 3 cm l'assise inférieure. Ces joues sont articulées à l'une de leurs extrémités avec un fond vertical en aluminium qui les entretoise. Il en est de même des plaques verticales formant le noyau intérieur. Le tout repose sur le mur par un petit rouleau qui facilite les déplacements ultérieurs.

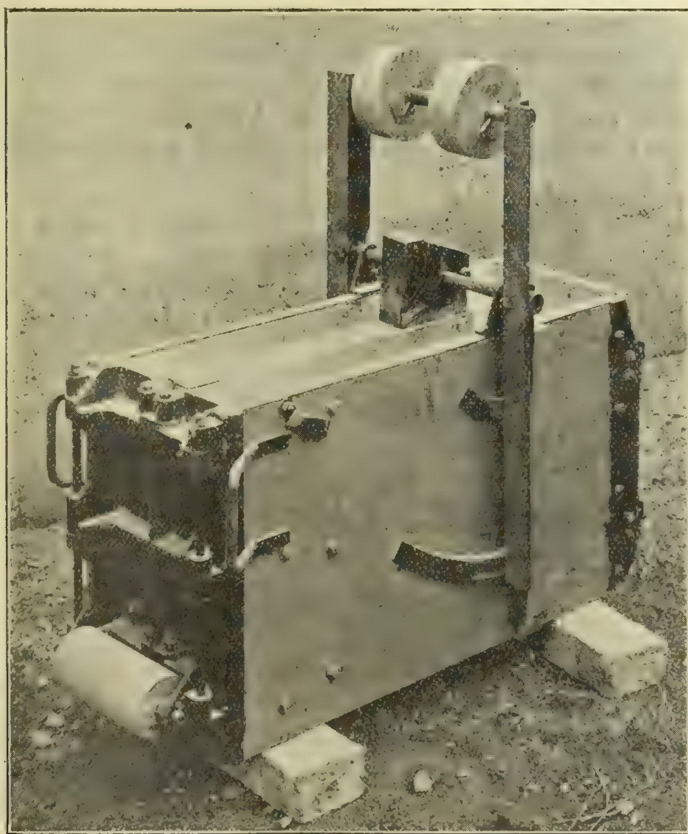


Fig. 2. — Moule de la Société du Béton monolithe.

Grâce aux articulations, les joues peuvent se rapprocher aux distances exactes des moulages; puis, au moment où doit s'opérer le déplacement du moule, les faces extérieures s'écartent tandis que celles du noyau se rapprochent; le déplacement peut ainsi s'effectuer sans frottement sur le bloc qui vient d'être pilonné.

Pour opérer ce mouvement angulaire des faces, on voit sur la figure 2, un étrier muni d'un contre-poids, qui peut osciller autour de deux tourillons et dont les branches agissant sur des secteurs en plan incliné, poussent les joues dans le sens convenable.

Sauf pour l'élément de départ, le moule n'est pas fermé du côté où le nouvel élément de béton doit se souder au précédent, cette soudure comportant d'ailleurs

une cloison transversale qui assure la liaison des deux parois; dans ce but, le noyau central est un peu plus court que les parois latérales.

Les parois ont 8 cm d'épaisseur, laissant entre elles un vide de 6 cm, ce qui donne à la muraille une épaisseur totale de 22 cm communément admise.

Chaque élément de paroi mesure 38 ou 42 cm de hauteur, avec une longueur de 50 à 70 cm. En moyenne, on peut compter qu'il faut cinq opérations pour construire 1 m².

Le béton, étant versé directement en place, n'a pas besoin d'être très riche en liant. On y peut employer du ciment Portland, mais il est très suffisant de faire usage de chaux hydraulique ou d'un mélange de ciment et de chaux. Il suffit de 200 à 250 kg de liant par mètre cube de béton. Le dosage se fait à la main.

La rapidité de construction est très grande. L'opération du moulage ne dure que 5 minutes; il en faut 3 pour déplacer et régler le moule, de sorte qu'il serait

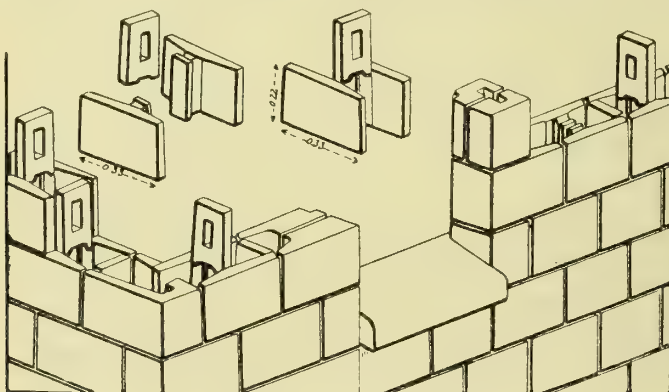


Fig. 3. — Agglomérés système Nasousky.

possible de construire en 1 heure 2 m² de muraille. Toutefois, pour tenir compte des temps perdus, on évalue le rendement à 1 m² par heure.

Le moule dont les deux faces intérieures sont revêtues de zinc ou de tôle, pèse environ 50 kg.

Pour compléter ce petit matériel, on a quelques éléments en tôle permettant d'amorcer les retours d'équerre.

Il convient d'appeler l'attention sur la possibilité que l'on a de varier le dosage et la composition du béton dans la paroi extérieure et dans la paroi intérieure. On sait en effet que pour cette dernière, on a intérêt à la composer de béton maigre, assez poreux pour assurer l'absorption de l'humidité, en évitant les dépôts de buée qui caractérisent les enduits de ciment trop imperméables.

En résumé, ce mode de construction présente certainement de grands avantages de simplicité et de bon marché qui le recommandent à l'attention

II. — **Matériaux agglomérés.** — *Procédés Nasousky.* — Les éléments de construction du système Nasousky ont pour eux d'avoir donné lieu à d'assez nombreuses applications pour des bâtiments de toutes natures, des églises notamment, ce qui indique assurément une grande facilité d'adaptation aux cas les plus divers.

Il s'agit encore de la construction de murs creux, mais dont les deux parois sont

formées d'éléments indépendants, solidarisés par des clefs transversales pendant la mise en œuvre (fig. 3).

L'inventeur de ce système attribue à cette indépendance une grande efficacité pour l'étanchéité de la muraille par suite des contacts très restreints qui existent entre les parois.

Il assure d'ailleurs que la construction est économique, bien que le maniement d'un grand nombre d'éléments semble devoir entraîner un certain supplément de main-d'œuvre; d'autre part, la face des éléments est assez nette pour rester apparente et sans enduit extérieur.

La figure 3 suffit à indiquer le mode général de construction et la forme de quelques-uns des éléments assez nombreux en **T**, en **L**, ou en **U**, qui entrent dans la composition des murs et permettent de réaliser des piliers d'angle ou des encadrements de baies.

COMPTES RENDUS

DES SÉANCES DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT

CONSEIL D'ADMINISTRATION

SÉANCE PUBLIQUE

DU 11 JUIN 1921

Présidence de M. L. Baclé, président.

La séance est ouverte à 17 h.

Le procès-verbal des séances des 21, 23, 24, 25, 26 et 28 mai est adopté.

Sont présentés pour devenir membres de la Société et admis séance tenante :

M. Séjournet (Jules, Marie, Clément), administrateur-délégué de la Société d'Appareillage et Forges de Villers-Cotterets, 26, rue Cadet, Paris (9e), présenté par MM. Baclé et Toulon ;

M. Lespinasse (Claudius), chaudronnerie, à Irigny (Rhône), présenté par M. Baclé;

M. Rousseau (Auguste, Emile), Ingénieur I. D. N., licencié en droit, directeur général de *La Machine moderne*, 17, rue du Vieux-Colombier, Paris (6e), présenté par M. Didier;

M. Chagnaud (Léon) (O. ✻), Ingénieur des Arts et Métiers (Châlons, 1881), lauréat de l'Institut, sénateur, président de la Société des Ingénieurs civils de France, 18, rue de l'Arcade, Paris (8e), présenté par MM. Baclé et Guillery (membre perpétuel);

MM. Rochette Frères, électrométallurgistes, 87, rue Saint-Lazare, Paris (9e), présentés par M. Gall;

M. L'Hoir (Georges), ingénieur, 63, rue de la Cathédrale, Liége (Belgique), présenté par M. Lemaire.

M. LIVACHE présente un rapport au nom du Comité des Arts chimiques, sur la *répartition des revenus des fondations de secours attribuées à ce Comité* (1).

M. MOREAU présente un rapport au nom du Comité des Constructions et Beaux-Arts sur un ouvrage intitulé : *Calcul du ciment armé sans formules algébriques*, par M. DE TEDESCO (2).

Lecture est donnée du rapport présenté par M. MANGIN, au nom du Comité d'Agriculture, sur un ouvrage de M. ANDRÉ BOURDIN, intitulé : *Etude-enquête sur la Chéimatobie, ses mœurs et sa destruction* (3).

Ces trois rapports sont approuvés.

M. P. TOULON, *secrétaire*, indique dans quelles conditions M. Berger a conçu et réalisé la machine à écrire en caractères Braille qu'il va nous présenter. M. Berger, aveugle lui-même depuis l'âge le plus jeune, a construit de ses propres mains un premier modèle de sa machine et a indiqué lui-même, dans le détail, les perfectionnements et modifications qui devaient être apportés à ce modèle en vue de construire celui qui va être présenté pour la première fois en public. Cette machine est à la fois très ingénieuse, simple, robuste et commode; elle permet en outre d'obtenir certains résultats que ne donnent pas les machines similaires construites à l'étranger. C'est la première machine à écrire en caractères Braille construite en France. Rien qu'à ce titre, elle méritait de retenir l'attention de la Société d'Encouragement.

M. BERGER, professeur à l'Institut national des Jeunes Aveugles, président de « l'Amitié des Aveugles de France », fait une communication sur *sa machine à écrire en caractère Braille*.

M. Berger adresse d'abord des remerciements à tous ceux qui l'ont aidé à réaliser matériellement sa machine : M. Breton, directeur des Inventions; M. Martinez, mécanicien habile et dévoué, connaissant parfaitement tous les appareils pour aveugles; MM. Muller et Vergeat, constructeurs-mécaniciens de pièces détachées pour le matériel de chemins de fer et l'automobile, 60, rue Rouget-de-l'Isle, à Suresnes, qui se sont prêtés, de bonne grâce et avec une patience inlassable, à l'exécution de la machine; M. Toulon, secrétaire de la Société d'Encouragement qui, ayant eu connaissance de l'invention de M. Berger, a tenu à ce qu'il vînt la faire connaître à notre Société.

M. Berger rappelle d'abord en quoi consiste l'écriture imaginée par Braille en 1829, et comment les aveugles et les voyants peuvent écrire ces caractères au moyen d'une tablette et d'un poinçon. Dans l'alphabet Braille, qui est international, chaque lettre est représentée par un ou plusieurs des 6 points du 6 d'un dé à jouer. Ces points sont formés en relief au moyen du poinçon sur un papier épais qui, une fois écrit, devient gaufré. L'aveugle lit ces caractères en promenant ses doigts

(1) Voir ce rapport à la page 1045 du présent numéro.
(2) Voir ce rapport à la page 1047 du présent numéro.
(3) Voir ce rapport à la page 1050 du présent numéro.

sur ces points saillants. A l'aide de la tablette et du poinçon, il peut les écrire lui-même. Les dimensions sont uniformes, l'expérience ayant fait connaître leur valeur.

Il existe aussi des machines à imprimer des livres en caractères Braille, mais c'est seulement dans ces dernières années qu'on s'est préoccupé de mettre une machine à écrire en Braille à la disposition des aveugles. Ces machines étaient toutes, jusqu'à présent, d'origine étrangère.

La machine de M. Berger a été brevetée le 8 juillet 1919 et achevée le 19 mai 1920; elle se distingue des machines étrangères existantes par les caractéristiques suivantes :

1° Le chariot est constitué essentiellement par un cylindre creux de 360 mm de longueur sur 70 mm de diamètre, maintenu, à chacune de ses extrémités, par un cercle métallique ou tête du cylindre.

Dans ce cylindre, on peut placer une feuille de papier du format généralement usité pour le Braille, 340 mm de longueur sur 250 mm de hauteur, sans avoir besoin de l'enrouler sur elle-même. Cette condition est indispensable si l'on veut utiliser l'écriture sur les deux côtés de la feuille, car autrement, il y aurait de grands risques que les points soient effacés, ou, au moins, abîmés par le frottement ;

2° Le cylindre présente, à la partie opposée à l'opérateur, une ouverture longitudinale permettant l'entrée et la sortie de la feuille de papier. Deux barres métalliques sont placées l'une au-dessous, l'autre au-dessus de cette ouverture; elles peuvent tourner dans des orifices pratiqués dans les têtes du cylindre. La barre inférieure porte, à chacune de ses extrémités, une molette à stries divergentes pouvant se déplacer à volonté et être fixée sur un point quelconque de la barre; sur la barre supérieure, sont placées deux contre-molettes de caoutchouc, solidaires des molettes divergentes.

Grâce à ce dispositif, le feuillet, pris entre les molettes divergentes et les contre-molettes, est maintenu tendu par leur action; il ne touche nulle part les barres portant molettes et contre-molettes et glisse seulement sur la frappe, qui est placée, comme dans les machines Pichte (allemande) et Halle (américaine), derrière le chariot : par ce moyen, la machine permet l'écriture des deux côtés du feuillet. D'autre part, les molettes pouvant être rapprochées, et les contre-molettes suivant leur mouvement, on peut écrire sur des feuillets ayant une largeur qui varie de 340 à 30 mm ;

3° Des margeurs, placés sur l'une des tiges qui relient les têtes du cylindre, permettent de n'employer qu'une partie du feuillet;

C'est ainsi que l'on peut se servir de la double page, en n'employant d'abord qu'une moitié de la feuille, et ensuite l'autre moitié;

4° Comme la Pichte et la Halle, la machine comporte un col de cygne qui, passant par-dessus le chariot, vient présenter le récepteur au-dessus de la frappe; ce récepteur peut basculer en pivotant sur l'extrémité du col de cygne, ce qui facilite grandement l'entrée et la sortie du feuillet et évite l'effacement des points qui pourrait se produire par le frottement sur le récepteur.

Cet avantage devient très appréciable lorsque l'on écrit des deux côtés du feuillet;

5° Le réglage du feuillet est assuré par une pièce pouvant monter ou descendre en glissant à frottement doux, le long et à l'arrière de la frappe;

6° A droite du cylindre, se trouve le bouton à l'aide duquel on peut faire tourner la barre qui porte les molettes divergentes; ce bouton permet ainsi de faire avancer ou reculer le feuillet. Entre le bouton et la tête droite du cylindre, toujours sur la

barre porte-molettes, se trouve une pièce circulaire présentant deux gorges. Quand on écrit au recto seul, un bouton, placé derrière la pièce en question, doit être appliqué sur la gorge de droite; quand on emploie l'écriture recto-verso-interlignes, on applique ce même bouton sur la gorge de gauche;

7° Le clavier ressemble beaucoup à celui de la Pichte. Comme dans cette machine, les touches sont assez semblables à celles d'un piano : chacune correspond à un point en position; elles présentent deux groupes symétriques de trois touches chacun, séparés par un intervalle où se meut le levier de l'espaceur. Cet intervalle facilite l'emploi des deux mains; il ne met pas obstacle à l'écriture d'une seule main (on sait que les aveugles se dictent de la main gauche et écrivent de la main droite lorsqu'ils copient du Braille en Braille). Cet avantage est appréciable pour les aveugles qui ont perdu une main;

8° La machine est très facilement démontable, ce qui permet à toute personne, aveugle ou voyante, d'effectuer la mise au point de toutes les pièces, sans le concours d'un mécanicien;

9° La machine comporte un grand nombre d'organes en aluminium; aussi son poids, capot compris, ne dépasse guère 6 kg; son prix est de 350 fr.

E. L.

M. Toulon, *secrétaire*, attire l'attention de l'auditoire sur les difficultés que présentait la résolution, réalisée par M. Berger, de deux problèmes non ou imparfaitement résolus sur les machines similaires étrangères : l'écriture au recto et au verso, soit dans les interlignes, soit, ce qui est plus difficile, entre les points. Dans le premier cas, on ne gagne guère que 30 p. 100 de la place offerte par le papier; dans le second, on gagne 100 p. 100 et tout revient, en somme, à utiliser totalement le recto et le verso d'un même feuillet. Ces deux problèmes, surtout le second, exigent pour leur résolution, un réglage très précis; ils ont été parfaitement résolus et avec un génie de la mécanique qu'envieraient beaucoup de voyants.

L'avantage de l'écriture en interpoints est important car les ouvrages écrits en Braille sont très volumineux. En les écrivant avec la machine de M. Berger, on diminue leur volume de moitié.

M. Baclé, *président*, remercie vivement M. Berger de son intéressante communication; il le félicite de l'habileté et de la persévérance dont il a fait preuve pour construire une machine française, très en progrès sur les machines similaires étrangères, et qui rendra tant de services à tous ceux qui, comme l'inventeur, sont atteints de cécité. Il a déployé dans sa conception et dans sa construction une ingéniosité et une connaissance de la mécanique que beaucoup de voyants pourraient lui envier. Cette machine permettra aux aveugles de rester, par un moyen de plus, des collaborateurs précieux pour les voyants et de mener la même vie qu'eux. M. Baclé adresse aussi des remerciements à Mme Berger, compagne et collaboratrice de M. Berger.

La séance est levée à 18 h. 15 m.

BIBLIOGRAPHIE

Les huiles végétales, par HENRI JUMELLE. Origines, procédés de préparation, caractères et emplois. (Encyclopédie industrielle.) Un vol. (19 × 12 cm) de 496 p., 125 fig. Paris, J.-B. Baillière et fils, 1921.

Quels que soient le nombre et la variété des fruits et des graines qui renferment de l'huile, les procédés qui permettent d'extraire celle-ci sont identiques : concasseurs, tordoirs ou cylindres rotatifs, réchauffeurs, presses, etc., identiques aussi les procédés qui reprennent les grignons ou les tourteaux pour les épuiser d'huile : digesteurs au sulfure de carbone ou à l'essence minérale; en sorte qu'un auteur, qui aborderait l'industrie huilière sans se préoccuper de la nature des fruits et des graines que l'on veut travailler, pourrait se contenter de décrire les appareils passe-partout en faisant entrer en jeu non pas du colza, de l'arachide ou du palmiste, mais « la graine ».

Dans le volume qu'il consacre aux « huiles végétales », M. Jumelle, professeur à la Faculté des Sciences de Marseille, directeur du Musée colonial, étudie d'abord, dans l'ordre d'idées que je viens d'indiquer, les principaux appareils de l'huilerie, et même les plus modernes; puis, il passe en revue les usages les plus fréquents des huiles et leurs transformations, en huile cuite, en savons, en bougies, etc.; il aborde enfin, avec la plus grande compétence, l'étude botanique et chimique des différentes graines employées en huilerie et décrit la valeur et les usages des huiles que l'on en extrait.

C'est cette dernière partie qui présente le maximum d'intérêt, parce qu'elle est écrite par un savant de la plus haute compétence, et que le lecteur, quelle que soit la graine qu'il désire connaître, trouvera sur sa constitution et sur sa composition les précisions qu'il recherche; l'auteur a divisé les graines qu'il décrit suivant une classification botanique. Peut-être serait-il intéressant de rechercher les relations qui existent, dans leur composition, entre les huiles d'une même espèce botanique, ou les différences qui s'établissent entre les huiles de conifères, de graminées, de crucifères, de légumineuses, etc. Ce serait là un travail de longue haleine que le livre ne comporte pas.

Il ne comporte pas non plus l'exposé des statistiques de production et de consommation qui seraient si utiles pour comprendre l'intérêt que présentent les différentes graines, surtout au point de vue colonial. Le livre de M. Jumelle, dans ces conditions, est moins un guide pour les fabricants d'huiles qu'un dictionnaire qui leur sera des plus utiles à consulter et leur rendra les plus grands services.

L. LINDET.

Théorie du coup de bélier, Notes I à V, par LORENZO ALLIEVI. Traduit de l'italien par DANIEL GADEN, préface de RENÉ NEESER. Un volume de texte (27 × 18 cm) de XV + 134 p. et un atlas de XLIII pl. Paris, Dunod, 1921.

L'étude du coup de bélier dans les conduites hydrauliques a fait l'objet de nombreux travaux, parmi lesquels ceux de M. Allievi tiennent une place importante.

Sa *Théorie générale du mouvement troublé de l'eau en pression dans les tuyaux*, parue en 1903 dans les *Annali della Società degli Ingegneri ed Architetti*, a été traduite en français par l'auteur lui-même, et cette traduction a été publiée en 1904 par la *Revue de Mécanique*. En 1913, M. Allievi a complété son œuvre par cinq notes, dont les deux premières seules ont été insérées par la *Revue de Mécanique* (mai et juillet 1914). L'ensemble de ces cinq notes fait l'objet d'un volume de texte et d'un volume de planches, édité cette année par la maison Dunod. Le traducteur est M. D. Gaden. Le texte est accompagné d'une préface du professeur suisse R. Neeser, auteur d'expériences faites en 1906 sur une conduite de 950 m de longueur, expériences qui ont pleinement confirmé les vues de M. Allievi. Voici les titres des cinq notes :

I. — Aperçu général de la méthode;
II. — Le coup de bélier de fermeture;
III. — Le coup de bélier d'ouverture;
IV. — Contre-coup de retour au régime;
V. — Phénomènes de résonance.

L'idée fondamentale qui inspire cet ensemble de recherches consiste à considérer au lieu de la pression locale p et de la vitesse locale v, à chaque instant du phénomène, les rapports $\frac{p}{p_0}$, $\frac{v}{v_0}$, dans lesquels p_0, v_0 désignent la pression et la vitesse à l'état de régime. M. Allievi montre que, si l'on prend en outre pour variable, au lieu du temps, le produit du temps par la vitesse de propagation, les équations différentielles auxquelles on est conduit dépendent d'un seul coefficient, qu'il appelle la *caractéristique* de la conduite. C'est là une remarque fort importante, parce qu'elle permet de synthétiser au moyen de cette seule caractéristique l'influence d'un grand nombre d'éléments, tels que : le diamètre de la conduite, l'élasticité du métal et du liquide, la pression de régime, la vitesse d'écoulement.

Cependant, deux conduites admettant la même caractéristique ne se comportent pas en général d'une façon identique, attendu que leurs longueurs respectives doivent nécessairement jouer un rôle. M. Allievi tourne cette difficulté en comparant les effets produits dans les deux conduites au bout d'intervalles de temps égaux, pour chacune d'elles, au quotient de la longueur par la vitesse de propagation. Il est ainsi amené à établir une suite d'équations algébriques convenant à toutes les conduites possibles et permettant de formuler des conclusions tout à fait générales. Ces résultats sont traduits par des abaques que l'auteur appelle *synopsis cartésiennes* et *diagrammes circulaires*.

Nous ne pouvons entrer ici dans plus de détails; ajoutons seulement qu'après avoir étudié le travail de M. Allievi, on partage volontiers l'opinion de M. Neeser, lequel déclare qu'il y a là une méthode d'une extrême fécondité. Mais il doit être bien entendu que cette méthode concerne uniquement les conduites constituées de façon identique dans toute leur longueur.

L. LECORNU.

OUVRAGES REÇUS A LA BIBLIOTHÈQUE
EN JUIN, JUILLET, AOUT ET SEPTEMBRE 1921.

WAHL (ANDRÉ). — **L'industrie des matières colorantes organiques.** 2e éd. Tome I : **Les produits intermédiaires.** (*Encyclopédie scientifique*). In-12 (18 × 12) de 350 p., 24 fig. **Bibliographie**, p. 337-342. Paris, Gaston Doin, 1921. **16228**

Catéchisme des chauffeurs et des conducteurs de machines, rédigé sous les auspices de l'ASSOCIATION DES INGÉNIEURS SORTIS DE L'ÉCOLE DE LIÉGE, par CH. BEER, AD. DE VAUX, A. STEVART, H. DECHAMPS, H. HUBERT et FRÉD. SMAL. 9e éd. I : **Les chaudières et le chauffage.** In-12 (18 × 13) de XV + 104 p., 17 fig., I pl. Liége, Imp. H. Vaillant-Carmanne, 1921. **16229**

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE. DIRECTION GÉNÉRALE DES EAUX ET FORÊTS (2e partie). — **Service des grandes forces hydrauliques** (**Région du Sud-Ouest**). Tome VII, fasc. A : *Résultats obtenus pour le bassin de l'Adour, pendant les années 1917-1918.* **16230**

VAUCLIN (L.) et LONG (A.-K.). — **Le mécanicien frigoriste.** (*Bibliothèque professionnelle*). In-18 (16 × 10) de 276 p., 33 fig. Paris, J.-B. Baillière et fils, 1921. **16231**

PETIT (F.-R.). — **Constructions aéronautiques** (**Aviation**). (*Bibliothèque professionnelle*). In-18 (16 × 10) de 246 p., 188 fig. Paris, J.-B. Baillière et fils, 1921. **16232**

LEROUX (EUG.) et DUCHESNE (R.). — **Manuel de vannerie.** Technologie vannière. (*Bibliothèque professionnelle*). In-18 (16 × 10) de 376 p., 271 fig. Paris, J.-B. Baillière et fils, 1921. **16233**

GRANIER (Melle C.). — La question de l'azote. **La cyanamide calcique.** Son emploi dans l'industrie et dans l'agriculture. (*Actualités scientifiques*). In-12 (19 × 12) de 114 p., 2 fig. Paris, Gauthier-Villars et Cie, 1921. **16234**

TASSY (EDME) et LÉRIS (PIERRE). — **Les ressources du travail intellectuel en France.** Organes d'information et de documentation. Moyens et organes de perfectionnement, aide, encouragement, placement. Sociétés savantes. Cours. Laboratoires. Observatoires. Collections d'études. Bibliothèques et Archives. Subventions. Prix et Concours. Indications bibliographiques. In-8 (23 × 14) de XXI + 711 p. Paris, Gauthier-Villars et Cie, 1921. **16235**

BOUASSE (H.). — **Mécanismes.** Théorie des vecteurs. Cinématique. (*Bibliothèque scientifique de l'ingénieur et du physicien*). In-8 (25 × 16) de XXII + 483 p., 395 fig. Paris, Librairie Delagrave, 1921. **16236**

BLANC (A.). — **Rayonnement.** Principes scientifiques de l'éclairage. (*Collection Armand Colin, n° 1* (*Section de physique*). In-16 (17 × 11) de VI + 212 p., 35 fig. **Bibliographie**, p. 207-210. Paris, Librairie Armand Colin, 1921. **16237**

BRICARD (R.). — **Cinématique et mécanismes.** (*Collection Armand Colin, n° 3* (*Section de mathématiques*). In-16 (17 × 11) de II + 212 p., 79 fig. **Bibliographie**, p. 207. Paris, Librairie Armand Colin, 1921. **16238**

GUTTON (C.). — **Télégraphie et téléphonie sans fil.** (*Collection Armand Colin, n° 6* (*Section de physique*). In-16 (17 × 11) de 188 p., 107 fig. **Bibliographie**, p. 183-184. Paris, Librairie Armand Colin, 1921. **16239**

Coffignier (Ch.). — **Manuel du peintre. Couleurs et vernis.** (*Bibliothèque professionnelle*). In-18 (16 × 10) de 348 p., 31 fig. Paris, J.-B. Baillière et fils, 1921. **16240**

Boret (Victor). — **Pour et par la terre.** In-12 (19 × 12) de 318 p. Paris, Payot et Cie, 1921. **16241**

Quesnel (George M. de). — **La publicité en XII leçons.** Traduit par J.-A. Saussaye, In-12 (19 × 12) de 71 p. Paris, G. et M. Ravisse, 1921. **16242**

Bloch (Eugène). — **Théorie cinétique des gaz.** (*Collection Armand Colin, n° 7* (*Section de physique*). In-16 (17 × 11) de 176 p. **Bibliographie**, p. 175. Paris, Librairie Armand Colin, 1921. **16243**

Geffroy (J.). — **Traité pratique de géométrie descriptive.** (*Collection Armand Colin, n° 8* (*Section de mathématiques*). In-16 (17 × 11) de II + 191 p., 249 fig. Paris, Librairie Armand Colin, 1921. **16244**

Béghin (Henri). — **Statique et dynamique.** I. (*Collection Armand Colin, n° 9* (*Section de mathématiques*). In-16 (17 × 11) de VIII + 200 p., 76 fig. Paris, Librairie Armand Colin, 1921. **16245**

Bureau of Standards (Washington). — **National electrical Safety Code.** (*Handbook series, Bureau of Standards, n° 3*). 3^d^ ed. In-12 (19 × 12) de 366 p. Washington, 1921. **16246**

Portevin (Albert M.). — **L'étude de la structure des métaux et alliages et ses conséquences.** In-8 (24 × 15) de 72 p., 27 fig., VI pl. Paris, X-Information, 10, rue de Rivoli, 1921. **16247**

Montoriol (E.). — **Appareils et installations télégraphiques.** (*Encyclopédie d'électricité industrielle*). Bibliothèque des Annales des Postes-Télégraphes-Téléphones. In-8 (23 × 15) de VI + 625 p., 449 fig. **Bibliographies**, p. 126, 212, 254, 450, 490, 524, 544, 569, 586, 610. Paris, J.-B. Baillière et fils, 1921. **16248**

Eydoux (Denis). — **Hydraulique industrielle et usines hydrauliques.** (*Encyclopédie du génie civil et des travaux publics*). In-8 (23 × 15) de VII + 538 p., 312 fig. **Bibliographies**, p. 77, 114, 142, 157, 208, 256, 302, 358, 414, 440, 469, 491. Paris, J.-B. Baillière et fils, 1921. **16249**

Bodin (Pierre). — **La contribution extraordinaire sur les bénéfices de guerre. Les sursis de payement.** Comment les obtenir. In-12 (19 × 12) de 64 p. Paris, G. et M. Ravisse, 1921. **16250**

Heller (L.-R.) et Saussaye (J.-A.). — **Comment écrire vos lettres d'affaires.** Précis méthodique de correspondance commerciale. Lettres courantes. Lettres de vente. Le service de la correspondance. In-12 (19 × 12) de VIII + 169 p. Paris, G. et M. Ravisse; Liége, Librairie Nierstrasz, 1921. **16251**

Bary (Paul). — **Les colloïdes.** Leurs gelées et leurs solutions. In-8 (23 × 16) de XII + 508 p., 103 fig. Paris, Dunod, 1921. **16252**

Exposition universelle et internationale de Bruxelles, 1910. — **Rapport général de la Section française**, par G.-Roger Sandoz et Léo Claretie. In-4 (27 × 18) de XII + 441 p., XX pl. Paris, Comité français des Expositions à l'Etranger. **16253**

Gaschet (Hippolyte). — **Sculpture sur bois.** (*Bibliothèque professionnelle*). In-18 (16 × 10) de 206 p., 275 fig. Paris, J.-B. Baillière et fils, 1921. **16254**

Ministère de l'Agriculture. Direction générale des Eaux et Forêts. (2e partie : Eaux et améliorations agricoles). — **Service des grandes forces hydrauliques (Région du Sud-Est).** Tome IX : *Compte rendu et résultats des études et travaux au 31 décembre 1917*, de 491 p. Annexe I : *Nivellements*, pl. 162 à 191. Annexe II : *Cartes*, n°s 21 à 28. Paris, 1920. **16255-7**

PESCHAUD (MARCEL). — **Les chemins de fer pendant et depuis la guerre (1914-1920)**. (*Revue générale des Chemins de Fer*). In-4 (31 × 22) de 202 p., 3 cartes. Paris, Dunod. **16258**

*
* *

FREMONT (CHARLES). — **Essai à l'emboutissage des tôles minces.** Études expérimentales de technologie industrielle (56e mémoire). (*Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale*, mars 1921, p. 241-253, 22 fig.). **Pièce 12624**

VIDAL (L.) et ARIBERT (M.). — **Essais de traitement du papyrus à l'École française de Papeterie.** (*L'Agronomie coloniale*, février 1921, 19 p., I pl.). Paris, Émile Larose, 1921. **Pièce 12625**

HADFIELD (SIR ROBERT A.). — **An Address of Thanks to Members of the Engineering Societies of the United States.** In-8 (25 × 16) de VII + 41 p., VIII pl. London, 1921. **Pièce 12626**

RENARD (Lieutenant-Colonel PAUL). — **L'évolution de l'aéronautique pendant la guerre, 1914-1918.** (*Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale*, janvier 1921, 51 p., 6 fig.). **Pièce 12627**

KNAPEN (A.). — **Mesures (!) à prendre contre l'humidité dans les habitations à bon marché**, d'après les directives de la Ve Section du Conseil supérieur d'Hygiène de Belgique. 3e partie. (*Revue générale des applications industrielles* (Bruxelles), décembre 1920, 92 p., 19 fig.). Bruxelles, L. Lielens, 1920. **Pièce 12628**

PESCHAUD (MARCEL). — **Les chemins de fer pendant et après la guerre.** (*Conférence faite le 23 janvier 1921 au Conservatoire national des Arts et Métiers*). In-12 (19 × 12) de 55 p., 11 fig., VI pl. Paris, Librairie de l'Enseignement technique, 1921. **Pièce 12629**

COMITÉ CENTRAL D'ÉTUDES ET DE DÉFENSE FISCALE. — **Les dispositions fiscales des lois d'avril et mai 1921 et la situation financière de la France et les perspectives fiscales d'après la discussion du budget de 1921.** In-8 (21 × 13) de 31 p. Paris, 21, rue Croix-des-Petits-Champs, 1921. **Pièce 12630**

MINISTÈRE DES FINANCES. — **Tableau des coefficients de majoration des droits de douane** (*Journal officiel*, 4 juillet 1921, 20 p.). Paris, La Journée industrielle, 1921. **Pièce 12631**

MASARYK (T. G.). — **Sur le bolchévisme.** Le bolchévisme et les ouvriers. La révolution et les bolchévistes. La soi-disant dictature du bolchévisme. In-8 (24 × 15) de 39 p., I pl. Genève, S. A. des Éditions Sonor, 1921. **Pièce 12632**

BUJOR (D. IONESCU). — **Contributiuni la studiul compozitiei chimice a cimentului** (avec une traduction française des résultats obtenus). In-8 (23 × 15) de 18 p. Bucarest, Cartea Româneascä, 1920. **Pièce 12633**

FRION (P.). — **Le chauffage au charbon pulvérisé**, suivi de la liste générale des usines du monde entier utilisant le charbon pulvérisé.(*Chaleur et Industrie*, mai, juin et juillet 1921, 32 p.). Paris, 5, rue Michel-Ange. **Pièce 12634**

NITESCU (MARCEL A.). — **L'industrie électro-chimique de Roumanie** (Dicio Saint-Martin). In-4 (30 × 23) de 8 p., 3 fig. Bucarest, Tip. « Convorbiri Literare », rue Campineanu, 17. **Pièce 12635**

SOCIÉTÉ ANONYME DES CHANTIER ET ATELIERS DE SAINT-NAZAIRE (PENHOËT). — **Notice.** In-8 oblong (22 × 27) de 5 p., XLIV pl. Paris, 6 *bis*, rue Auber, 1921. **Pièce 12636**

SOCIÉTÉ DES CHANTIER ET ATELIERS DE SAINT-NAZAIRE (Chantier de Penhoët). — **Le paquebot « Paris », de la Compagnie générale transatlantique.** (*Bulletin technique du Bureau Veritas*, juin 1921, 12 p., 10 fig.). **Pièce 12637**

REY (JEAN). — **La commande électrique des tourelles cuirassées.** Communication faite à la Société française des Électriciens, le 4 mai 1921. (*Bulletin de la Société française des Électriciens*, 4e série, Tome I, n° 5 (mai 1921), 67 p., 24 fig.). (Don de M. Jean Rey, membre du Conseil d'Administration). **Pièce 12638**

* * *

ASSOCIATION FRANCO-BELGE POUR L'ESSAI DES MATÉRIAUX. — **2e Procès-verbal, séance du 25 mars 1921.** Paris, Éditions de la *Revue de Métallurgie*, 5, Cité Pigalle. **Pér. 343**

ASSOCIATION FRANÇAISE POUR LE DÉVELOPPEMENT DES TRAVAUX PUBLICS. — **Bulletin n° 14 (1er trimestre 1921).** Paris, 19, rue Blanche (9e). **Pér. 408**

ADMINISTRATION DES MONNAIES ET MÉDAILLES. — **Rapport au Ministre des Finances.** 20e année, **1915-1916.** Paris, Imprimerie nationale, 1920. **Pér. 212**

ASSOCIATIONS DE PROPRIÉTAIRES D'APPAREILS A VAPEUR. — **Compte rendu des séances du 39e Congrès des Ingénieurs en chef, tenu à Mulhouse en 1919.** Paris, Imp. H. Diéval, 57, rue de Seine (6e). **Pér. 131**

COMITÉ DES TRAVAUX HISTORIQUES ET SCIENTIFIQUES. — **Bulletin de la Section de Géographie.** Tome XXXV, année **1920.** Paris, Imprimerie nationale, 1921. **Pér. 26**

SOCIÉTÉ D'AGRICULTURE, SCIENCES ET INDUSTRIE DE LYON. — **Annales, 1916-1917.** Lyon, 30, quai Saint-Antoine. **Pér. 247**

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE. — **Annuaire 1921.** Paris, 44, rue de Rennes (6e). **Pér. 36**

CHAMBRE SYNDICALE DES FABRICANTS ET DES CONSTRUCTEURS DE MATÉRIEL POUR CHEMINS DE FER ET TRAMWAYS. — **Annuaire 1921-22.** Paris, 7, rue de Madrid (8e). **Pér. 399**

COLONIE DE MADAGASCAR ET DÉPENDANCES. — **Bulletin économique** publié par les soins du Gouvernement général. 18e année, **1921**, n° 1 (1er trimestre). Tananarive, Imprimerie officielle, 1921. **Pér. 446**

DIRECTION DES DOUANES DE MADAGASCAR ET DÉPENDANCES. — **Statistiques du commerce et de la navigation de l'année 1920** et résultats comparés des années 1919 et 1920. Tananarive, Imprimerie officielle. **Pér. 446**

STATION AGRONOMIQUE DE LA GUADELOUPE. — **Second Rapport 1919-1920.** Pointe-à-Pitre, Imp. commerciale, 1921. **Pér. 461**

IRON AND STEEL INSTITUTE. — **Journal. 1921, n° I. Vol. CIII.** London, 1921. **Pér. 157**

INSTITUTION OF MECHANICAL ENGINEERS. — **Proceedings. Vol. I, 1921** (January-May). London, 1921. **Pér. 114**

LIBRARY OF CONGRESS. — **Report, 1920.** Washington, 1920. **Pér. 350**

NATIONAL PHYSICAL LABORATORY. — **Report for the year 1920.** London, 1921. **Pér. 62**

SMITHSONIAN MISCELLANEOUS COLLECTION. — Vol. 72, n° 6 (publ. 2619); n° 7 (publ. 2620); n° 9 (publ. 2651). Washington, 1921. **Pér. 27**

ROTHAMSTED EXPERIMENTAL STATION, HARPENDEN. — **Report 1918-20.** Harpenden, 1921. **Pér. 7**

SECRETARIA DE INDUSTRIA, COMERCIO Y TRABAJO (Mexico). — **Boletin de Industria, Comercio y Trabajo.** Tomo IV, **1920**, nos 4, 5 y 6 (abril, mayo y junio). Mexico, 1921. **Pér. 454**

L'agent général, gérant,
E. LEMAIRE.

Coulommiers. — Imp. PAUL BRODARD.

BULLETIN

DE

LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT

POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

QUELQUES REMARQUES PRATIQUES SUR L'ENSEIGNEMENT DES APPRENTIS (1)

Nous avons un besoin urgent d'apprentis instruits, connaissant bien leur métier. Tout le monde est à peu près d'accord pour reconnaître que, sauf exception, l'apprentissage ne peut bien se faire qu'à l'atelier, et qu'il a besoin d'être complété par des cours, pour permettre aux apprentis d'acquérir certaines connaissances que l'atelier ne peut leur donner.

Ces principes admis, il faut les appliquer. Ici, les difficultés commencent. Ceci s'explique par le fait que la question de l'apprentissage est extrêmement complexe, et comporte, à côté de conditions générales qui sont à peu près partout les mêmes, des conditions particulières très différentes. Il en résulte que, si l'on veut généraliser sans précautions des solutions convenant parfaitement à des cas particuliers, on risque d'aboutir à des impossibilités ou à des absurdités.

(1) La présente note est surtout relative à l'enseignement complémentaire donné aux apprentis en dehors de l'atelier. Elle est basée notamment sur l'expérience acquise dans la création et le fonctionnement, pendant ces dernières années, de cours complémentaires pour environ 150 apprentis, de professions très variées (depuis des tourneurs de cylindres et des électriciens jusqu'à des employés de commerce en passant par des ajusteurs, tourneurs, fondeurs, menuisiers, modeleurs, etc.).

En ce qui concerne l'enseignement à l'atelier, je renverrai à la communication que j'ai présentée au Congrès du Génie civil en 1918, sous le titre, *Un exemple de formation mutuelle des apprentis et des cadres*, dans laquelle j'indiquais comment, dans un ensemble d'ateliers d'un effectif d'environ 700 personnes, j'avais pu organiser l'enseignement des apprentis à l'atelier, en même temps que former les cadres qui faisaient défaut.

Il ne sera question ici que de l'enseignement technique élémentaire destiné à former des ouvriers ou des chefs d'équipe, en laissant de côté l'enseignement moyen pour les contremaîtres et chefs d'atelier et l'enseignement supérieur destiné aux ingénieurs ou aux chefs d'entreprises.

Les difficultés de la question. — Il importe donc de tenir compte, avant tout, de quelques faits.

La moitié de la population française à peu près, vit hors des grands centres, dans de petites villes sans aucune industrie, ou à la campagne. D'autre part, les enfants qui fréquentent les écoles communales vivent avec leurs parents, et ne peuvent aller qu'à l'école la plus voisine de leur domicile. De même, les jeunes gens en apprentissage sont généralement placés dans la localité même, ou à proximité.

En fait, la plupart des enfants des campagnes sont destinés à l'agriculture, où ils ont en général beaucoup plus de chances d'arriver à une situation indépendante que partout ailleurs, surtout si on leur donne une instruction adéquate qui manque encore à beaucoup d'entre eux, ainsi que j'ai eu l'occasion de m'en assurer comme président d'une union syndicale agricole d'arrondissement (1). En fait, le personnel manque de plus en plus pour les travaux des champs.

Ce qui précède suffit pour démontrer qu'en général, il serait inutile et même nuisible pour les enfants des campagnes et pour le pays de chercher à les préparer à d'autres carrières que celles qui sont à leur portée. D'ailleurs, dans les milieux éloignés des grands centres, on manque, dans la plupart des cas, d'éléments compétents, capables de constituer des offices d'orientation professionnelle qui seraient presque inutiles dans les conditions sus-indiquées. Sans doute, on pourra bien trouver assez facilement des gens qui constitueront des offices d'orientation, mais, s'ils sont incompétents ou inactifs, les résultats seront nuls; il n'y a pas besoin de fréquenter longtemps les comités, offices, comices, etc., pour perdre toute illusion à cet égard.

Les écoles de préapprentissage sont excellentes de même que les offices d'orientation professionnelle, mais seulement lorsque les conditions particulières le permettent, par exemple dans les grands centres. Dans nombre de cas, on n'y peut raisonnablement penser, encore moins qu'aux offices d'orientation professionnelle :

Pour qu'une école de préapprentissage fonctionne bien il faut des locaux et un matériel suffisants, des élèves pas trop nombreux par classe (une vingtaine) et surtout, des professeurs compétents, à la fois au point de vue technique et au point de vue pédagogique. Il en faudrait 4.000 à 5.000 pour 100.000 élèves.

Si l'on veut généraliser ces écoles, comme il y a quelques centaines de mille élèves susceptibles de les fréquenter (le désir d'instruction professionnelle augmente de plus en plus partout) on aboutit à des dépenses formidables. De plus, pour trouver des professeurs compétents en nombre suffi-

(1) Je n'aborderai pas ici la question de l'enseignement complémentaire indispensable pour les jeunes agriculteurs, aussi bien que pour les ouvriers des villes.

sant, il faudrait dépouiller notre industrie de ses meilleurs éléments et, par suite, la rendre incapable de lutter contre la concurrence étrangère, c'est-à-dire la tuer, sous prétexte de la préparer à mieux vivre. Monter des écoles de préapprentissage sans personnel enseignant convenable serait courir à un échec.

On a proposé d'obliger légalement les patrons à former des apprentis en fixant, après accord entre patrons et ouvriers, le nombre d'apprentis correspondant à chaque profession, dans chaque atelier ou dans chaque maison de commerce.

Suivant la profession ou la spécialité, on peut, dans un atelier d'effectif donné, employer plus ou moins d'apprentis. Parfois, il est impossible d'en employer, ou bien encore on ne peut les utiliser que comme manœuvres, ce qui n'est pas un apprentissage. Puis, dans nombre de cas, les patrons ne trouvent pas les apprentis qu'ils veulent. Comment alors pourraient-ils en avoir un nombre fixé d'avance? Cette obligation soulèverait forcément de nombreuses difficultés.

La conclusion de ces quelques observations préliminaires est donc que l'apprentissage doit être adapté aux circonstances et qu'on ne saurait songer à l'obligation légale qu'en tout dernier ressort s'il restait des patrons réfractaires une fois l'apprentissage organisé. Mais vouloir y recourir actuellement avant d'avoir organisé convenablement l'apprentissage et l'enseignement des apprentis serait renverser l'ordre logique des opérations.

Il y a d'ailleurs tellement à faire, même en l'absence de toute obligation légale de recruter des apprentis, que la question est de savoir par où il est le plus urgent de commencer pour ne pas perdre de temps.

Il ne suffit pas de se préoccuper d'orienter les enfants lorsqu'il y a doute sur leurs aptitudes ou lorsqu'ils ont le choix d'un métier; il ne suffit pas de leur faire faire un préapprentissage lorsqu'on le peut; ce qui importe plus que ces cas particuliers, c'est le cas général, celui des jeunes gens actuellement en apprentissage ou des enfants encore à l'école primaire, et qui, dans un, deux ou trois ans, entreront comme apprentis dans l'agriculture, le commerce, l'industrie, sans qu'il soit possible de penser pour eux à l'orientation professionnelle ou au préapprentissage.

C'est à ce nombre considérable d'enfants qu'il importe de penser surtout, pour leur donner d'abord, à l'école primaire, les connaissances générales nécessaires afin qu'ils soient bien préparés à apprendre la profession, et ensuite, en cours d'apprentissage, les connaissances indispensables à l'exercice de cette profession.

Enseignement primaire.

Dans toute profession, les apprentis ont besoin de savoir au moins lire, écrire et compter. On admet généralement qu'ils le savent en sortant de l'école primaire. En fait, beaucoup d'enfants qui commencent leur apprentissage, même ceux qui sont pourvus de leur certificat d'études primaires, sont à peu près illettrés; ils ne savent ni lire couramment, ni écrire lisiblement; leur orthographe laisse beaucoup à désirer; ils ignorent le système métrique et ne savent pas compter; de sorte qu'il faut, avant tout, si l'on veut faire réellement œuvre utile, reprendre en sous-œuvre l'essentiel de leur instruction primaire. C'est généralement si difficile qu'on y renonce, et c'est là, vraisemblablement, la principale cause de l'échec de nombreuses tentatives d'organisation de cours professionnels, ou des mauvais résultats qu'elles ont donnés; on perd son temps et celui des élèves à leur faire d'excellents cours s'ils sont incapables de les suivre.

En tout cas, ce défaut d'instruction est l'obstacle le plus important que j'aie rencontré. Certes, la guerre est pour quelque chose dans cette situation; mais même avant 1914, on la constatait déjà.

Il semble donc indispensable, si l'on veut organiser utilement des cours professionnels, que, dans les écoles primaires, on développe l'enseignement élémentaire, et qu'on le donne solidement de telle sorte qu'en quittant ces écoles, les élèves sachent bien lire et écrire couramment (une écriture lisible est importante), que leur orthographe soit acceptable, et qu'ils sachent faire des calculs simples.

Si, de plus, ils connaissent bien le système métrique et possèdent quelques notions de dessin linéaire, ils seront bien préparés. C'est bien peu dira-t-on, mais ce peu nous ne l'obtenons pas encore, et tant que nous ne l'obtiendrons pas, les cours complémentaires (comptabilité, arithmétique, géométrie, etc.), seront sans effet.

Comment obtenir ce minimum indispensable d'instruction primaire? Je ne vois pas d'autre moyen que de simplifier les programmes de l'enseignement primaire en les élaguant largement.

Mais, ne faut-il pas que les enfants de nos écoles primaires apprennent l'histoire, la géographie, la physique, la chimie, etc.? Nous savons tous que, peut-être pas aussitôt après leur sortie de l'école, mais en tous cas, très peu de temps après, les enfants ont tout oublié de ces matières. Si leur mémoire en a gardé quelque chose, ce quelque chose est tellement confus, parfois tellement bizarre, et même faux qu'une ignorance complète vaudrait mieux (1).

(1) Il semble qu'il y ait, à l'origine des programmes de l'enseignement primaire, une erreur fondamentale. Partant de ce fait que l'immense majorité des enfants qui vont à l'école primaire

Les faits étant tels, il est parfaitement inutile d'enseigner aux enfants ce dont il ne leur restera rien — ils pourront d'ailleurs s'instruire seuls plus tard sur ces matières s'ils en ressentent le besoin — et de perdre un temps précieux qui pourrait être utilement employé à leur enseigner l'indispensable : lire, écrire, compter, connaissances essentielles pour devenir bon ouvrier ou bon employé, et qu'ils n'acquerront jamais plus s'ils ne les possèdent pas en quittant l'école.

Combien de fois n'ai-je pu, comme tant d'autres, faire monter en grade, malgré tout mon désir, un ouvrier ou un employé actif, intelligent, désireux de bien faire, parce que son instruction première était par trop rudimentaire!

Ce qu'il nous faut donc demander avec insistance, c'est non pas qu'on fasse de l'enseignement professionnel ou du préapprentissage à l'école primaire, c'est, au contraire qu'on allège les programmes, et qu'on se garde d'y ajouter des questions professionnelles qui ne sont pas du ressort des instituteurs en général.

En effet, un maître qui a l'habitude de l'enseignement peut enseigner assez facilement des matières comme la géométrie, l'histoire, l'algèbre, la géométrie descriptive. Mais il ne faut pas en conclure qu'il peut enseigner n'importe quoi après une préparation sommaire.

Ce serait notamment une grave erreur en ce qui concerne l'enseignement professionnel pratique d'atelier, le seul dont il soit question pour les cours de préapprentissage de l'école primaire.

Il y a là une technique de métier qui s'acquiert seulement par la pra-

ne recevront pas d'autre instruction, on a voulu, en plus de connaissances élémentaires indispensables (lecture, écriture, etc.) leur donner des connaissances générales dont ils pourront avoir besoin plus tard, à leur majorité par exemple.

Mais, en voulant réaliser cette conception, rationnelle d'apparence, on perd de vue un autre fait : c'est que le temps écoulé entre le moment où l'enfant quitte l'école, 12 à 13 ans, même 14 ans, si l'on prolongeait la durée de la scolarité obligatoire, jusqu'à sa majorité, est tel qu'il oublie complètement toutes ces notions générales, de sorte que les efforts considérables faits pour les lui inculquer ont été dépensés en pure perte, au détriment des connaissances élémentaires indispensables. Il y a encore trop d'enfants pour lesquels, en quittant l'école, le simple fait de lire exige un effort : ils deviendront vite complètement illettrés.

La vraie solution paraît bien ne pas consister dans la surcharge des programmes, déjà excessifs, mais dans la mise à la disposition des enfants sortis de l'école primaire, des moyens de continuer à s'instruire ensuite, cours complémentaires, conférences, etc.

La majorité de ces enfants ou jeunes gens ayant tendance à ne suivre que les cours dont ils voient l'utilité immédiate, il importe, si l'on veut qu'ils suivent les cours où des connaissances générales leur seront données, que ces cours soient en petit nombre, faits très simplement et intercalés dans le programme des cours pratiques professionnels pour lesquels il y a beaucoup plus d'amateurs.

La nécessité de donner aux jeunes gens, sur un certain nombre de questions, des connaissances générales, sommaires mais exactes, n'est pas douteuse. L'ignorance effrayante de nombre de jeunes gens, parfois très intelligents, constitue en effet un danger social très grand. De très bonne foi, ils se laissent aller aux opinions les plus extrêmes, et deviennent, dans la main d'agitateurs, des instruments très dangereux.

Puis, on parle beaucoup d'instruction; l'éducation est importante aussi. S'il faut des connaissances, il faut aussi connaître la manière de s'en servir. Mais ce serait sortir complètement du cadre bien délimité de cette note que de parler plus longtemps de ces questions.

tique, qu'on n'arrive à bien posséder que par un exercice prolongé et non pas en lisant un manuel ou en faisant quelques exercices.

Si on engage les instituteurs dans cette voie, il arrivera qu'ils auront dans leur classe des élèves qui, ayant travaillé avec leurs parents dans telle ou telle profession, en connaîtront forcément beaucoup plus que l'instituteur dans la pratique de cette profession. Alors, lorsqu'il leur donnera des indications d'ordre pratique inexactes, ce qui arrivera forcément, ces enfants perdront toute confiance et tout respect pour lui : le prestige qui lui est nécessaire en sera considérablement diminué.

Ce n'est pas une crainte vaine : créant des cours d'apprentis, formant les maîtres et assistant par suite aux leçons, j'ai dû à maintes reprises venir à leur secours parce qu'ils n'avaient pas pu, malgré tous mes conseils, se retenir de s'engager dans des questions techniques qu'ils connaissaient insuffisamment ou même pas du tout. Il me fallait même réparer leur maladresse assez à temps pour empêcher les élèves de s'en apercevoir.

Que les instituteurs s'attachent donc tout d'abord à bien donner à leurs élèves l'enseignement élémentaire indispensable. S'il leur reste du temps disponible et de la bonne volonté (et, de cette dernière, ils ont beaucoup), le meilleur usage qu'ils puissent en faire est de se consacrer aux cours d'adultes, qui seraient si utiles à tant de jeunes gens entrés en apprentissage, et qui ne savent comment faire pour combler les lacunes de leur instruction première.

Cours complémentaires.

Recrutement des élèves. Examen préalable. Cours d'adultes. — Pour faire ces cours il faut trouver des élèves en nombre suffisant et des professeurs.

En ce qui concerne les élèves, il semble qu'on doive les trouver facilement, car, autant qu'il m'a été donné de le constater, il y a un grand nombre d'apprentis animés du désir de se perfectionner s'ils en trouvent les moyens.

Il arrive même qu'on trouve trop d'élèves, en ce sens que se présentent au cours des enfants dont l'instruction primaire est insuffisante pour les suivre avec fruit. Je considère comme nécessaire, étant donné qu'on a affaire à des enfants dont certains sont sortis depuis un certain temps de l'école, de faire passer à tous les candidats, qu'ils aient ou non leur certificat d'études, un examen préalable très simple.

Je me suis bien trouvé de leur faire passer un examen comportant : une courte dictée (permettant d'apprécier l'orthographe et l'écriture); un problème simple, sur le système métrique de préférence (pas de problèmes de robinets), un croquis coté d'après nature ou d'après un modèle très simple

(cube) et quelques interrogations variées portant principalement sur le système métrique. On pourrait y ajouter d'autres épreuves.

De la sorte, on peut faire tout de suite un premier classement qui permet d'envoyer immédiatement aux cours d'adultes, faits à l'école primaire, ceux qui, trop ignorants, perdraient leur temps aux cours complémentaires professionnels.

Si on veut les y garder de crainte de voir diminuer les effectifs, on les verra bien aux premières séances, où ils seront attirés par la curiosité et le désir de se perfectionner, mais, peu à peu, ils se lasseront de ne rien comprendre et cesseront de venir. Et, comme ils n'auront pas suivi le cours d'adultes dès le début, ils ne le suivront pas davantage après avoir abandonné le cours complémentaire car ils savent que, s'ils y allaient, il leur serait difficile de rattraper leurs camarades. En fait, ils seraient perdus pour l'école d'adultes aussi bien que pour le cours professionnel.

Heures des cours. — Faut-il faire les cours complémentaires *pendant ou en dehors des heures de travail*? Il semble difficile de fixer d'une manière générale les heures les plus favorables pour les cours et aussi celles qui apporteront le moins de trouble aux commerçants et aux industriels qui emploient les apprentis. Lorsqu'on peut grouper de jeunes apprentis en équipes séparées, surtout dans des locaux distincts, il est possible qu'on puisse sans grand inconvénient, et si c'est utile, prendre le temps des cours sur le temps de travail, étant entendu que les apprentis n'en profiteront pas pour vagabonder.

Mais, dans nombre de circonstances, il n'en sera pas de même : lorsque les apprentis travailleront avec des ouvriers ou d'autres employés, il pourra en résulter une gêne sérieuse pour l'exécution des travaux. Ce cas se rencontrera surtout dans le petit et le moyen commerce, dans la petite industrie. Certes, on pourrait prévoir des mesures de coercition légale pour obliger les patrons à envoyer leurs apprentis au cours à heures fixées pendant la durée du travail. Mais il ne semble pas qu'une telle mesure puisse donner de bons résultats maintenant, car déjà, pour l'enseignement primaire, on n'arrive pas à assurer convenablement la fréquentation scolaire, qui pourtant est obligatoire, et, pratiquement, les mesures de coercition légale restent lettre morte.

Pourtant, la gêne qui peut résulter de l'envoi d'un enfant à l'école primaire n'est pas à beaucoup près comparable à celle qu'occasionnerait, dans un petit commerce ou dans un petit atelier, le départ de l'apprenti avant ses camarades ou au milieu de la journée de travail.

De plus, pour certains apprentis, il sera très difficile, même impossible,

de les conduire aux cours complémentaires. Si on leur donne des heures de liberté pour cela ils iront se promener. Alors qui sera responsable de la non-fréquentation des cours? Il ne faut donc penser à recourir à la coercition légale qu'en dernier ressort. L'édicter pour qu'elle reste lettre morte serait non seulement inutile, mais nuisible.

A l'heure actuelle, il serait d'ailleurs tout au moins prématuré, dans la plupart des cas, de parler de l'obligation d'envoyer les apprentis aux cours complémentaires puisque ces *cours n'existent pas encore* et que, pour les créer, nous en sommes encore à la période de tâtonnements, de recours aux diverses bonnes volontés qui veulent bien s'offrir. Si on obligeait, dans ces conditions, les patrons à libérer les apprentis pendant les heures de travail, ce serait véritablement encourager, dans beaucoup de cas, les enfants au vagabondage et aller à l'encontre du but visé.

Il semble donc que, *actuellement*, dans la généralité des cas, il n'y ait à envisager que des cours faits en dehors des heures régulières de travail, sans parler d'obligations nouvelles pour les patrons.

Programmes.

Sans entrer ici dans des détails, on peut dire que le programme des cours complémentaires (élémentaires) pour les apprentis du commerce et de l'industrie comporte une partie commune et des parties spéciales, ces programmes portant sur deux ans, par exemple.

La partie commune peut, par exemple, avoir comme programme :

Arithmétique : quatre opérations, divisibilité, fractions, racine carrée, proportions ; — système métrique ; — graphiques ; — usage de la règle à calcul ; — éventuellement, notions de rédaction française, et de science administrative.

Pour les parties spéciales nous aurions :

1° *pour le commerce* : *a*) Comptabilité : factures, effets de commerce, bordereaux, calculs d'intérêts et comptes courants, bilans ; — *b*) Correspondance commerciale ; — *c*) Notions d'organisation et de classement.

2° *pour l'industrie* (et spécialement pour les mécaniciens) : *a*) Éléments de géométrie et de géométrie descriptive spécialement en vue du dessin et de la mesure des lignes, des surfaces et des volumes ; — *b*) Trigonométrie : notions très simples sur le calcul des angles et côtés de triangles ; — *c*) Dessin linéaire ; prise et lecture de croquis cotés : — *d*) Éléments de mécanique : emploi des instruments de mesure (vernier, pied à coulisse, palmer, calibres-limites), cours de filetage.

Ces cours théoriques généraux doivent être complétés par des cours de spécialités.

Pour les ajusteurs-tourneurs, le programme suivant pourrait être appliqué :

Traçage des pièces; montages; emploi de la lime et des outils, du tour; confection des outils : forge, trempe, entretien et affûtage des outils. Principaux organes des machines-outils; leur emploi; montage et démontage des machines-outils; utilisation des vitesses.

Cet enseignement pratique ne peut guère être donné que dans les ateliers mêmes (après entente avec les industriels). D'une manière générale, pour de multiples raisons (notamment les dépenses à engager), on ne peut créer des ateliers uniquement destinés à ce but.

Il est très bon que ces deux enseignements, théorique et pratique, soient donnés en collaboration étroite, de manière à se compléter l'un l'autre. (Ainsi, j'ai obtenu de très bons résultats en faisant faire aux élèves, aux cours théoriques, des problèmes sur l'usinage, le filetage, l'emploi des différentes vitesses, les serrages, avances, etc. En peu de temps, plusieurs de ces enfants sont parvenus, naturellement en suivant les indications des contremaîtres, à faire des calculs de temps d'usinage et des graphiques.)

De la sorte, les élèves voient l'application immédiate de ce qu'on leur enseigne (par exemple on leur demande : étant données les dimensions d'une pièce, quelles matières vous faudra-t-il demander au magasin, quelle quantité, quel poids?)

Les cours prennent pour eux plus d'intérêt et ils font des progrès plus rapides.

Personnel enseignant et directives nécessaires. — En nous reportant au programme donné ci-dessus, nous voyons qu'une grande partie des matières des cours théoriques peuvent être enseignées par le personnel enseignant dont on dispose actuellement, qu'il provienne soit de l'enseignement primaire, soit des autres établissements d'enseignement qui pourront exister dans la localité.

Par contre, pour les cours pratiques, il faut recourir à des professionnels : on les trouvera facilement si les cours sont donnés en dehors des heures de travail.

En ce qui concerne le personnel de l'enseignement primaire et secondaire, il m'a semblé que, souvent, ce personnel avait une tendance à considérer l'enseignement comme constituant à lui-même son propre but en dehors de toute idée d'utilisation pratique, alors que le but de l'enseignement professionnel n'est pas du tout de s'orner l'esprit mais bien d'acquérir

des connaissances pratiques qu'on utilisera immédiatement, matériellement, en vue de produire en gagnant sa vie; l'enseignement théorique n'intervenant que comme moyen de réaliser des applications pratiques, dans le but de produire, but que le personnel qui se consacre à l'enseignement pur perd trop souvent complètement de vue.

J'ai eu aussi l'impression que des maîtres avaient tendance à abaisser le niveau de leur enseignement, de manière que les élèves les plus faibles puissent le suivre, et cela au plus grand détriment des élèves plus avancés de la même classe. Cette tendance est désastreuse, à tous égards. Ce qui importe en effet, ce n'est pas de rendre péniblement quelques incapables un peu moins nuls; c'est de donner le plus tôt, et le mieux possible, aux enfants intelligents, les connaissances qu'ils sont capables d'acquérir et qui leur sont indispensables, dans leur intérêt comme dans celui du corps social. D'ailleurs, lorsqu'une classe compte des élèves trop faibles pour la suivre fructueusement, le meilleur parti à prendre, dans leur intérêt comme dans l'intérêt général, c'est de les éliminer, de les verser dans une classe correspondant à leur niveau et où ils pourront apprendre quelque chose. Les statistiques y perdront peut-être, mais tout le monde y gagnera.

On rencontre parfois dans le personnel enseignant, une tendance à employer des procédés d'appréciation qui ne tiennent pas du tout compte de la valeur relative des enfants et qui, par suite, exposent à de grosses erreurs. Ainsi, dans un examen préalable comme celui dont j'ai parlé plus haut, il y avait en fin de liste, pour la dictée, un certain nombre de copies ayant reçu la note zéro. Or, en prenant ces copies uniformément cotées 0, on y trouvait de très grandes différences.

Les unes étaient d'une écriture très convenable, très lisible, sans fautes absurdes, les élèves ayant reproduit en entier le texte dicté. Les autres, au contraire, étaient d'une écriture informe, presque illisibles; de plus, les élèves s'étaient arrêtés après quelques lignes incompréhensibles sans aucune orthographe. Il y avait donc une différence énorme entre ces deux catégories d'enfants. Au point de vue du commerce ou de l'industrie, cette différence seule pouvait, dans certains cas, faire que les uns étaient utilisables et les autres pas. Pourtant ils avaient tous été placés au même niveau, le plus bas, par les correcteurs. Ceux-ci avaient employé le procédé très simple qui consiste à enlever sur 10, note maxima, un point par faute. Il suffisait de commettre 10 fautes pour mériter la note zéro, que l'élève eût commis ces dix fautes en quelques lignes ou dans toute la dictée.

Il m'a été très difficile de faire comprendre à ces maîtres que cette manière de faire était inadmissible dans la circonstance et devait être remplacée par une appréciation d'ensemble plus arbitraire si l'on veut, mais

permettant de se mieux rendre compte de la valeur relative des élèves, en vue de leur utilisation.

De plus, dans l'enseignement professionnel, il ne s'agit pas de *chauffer* des élèves en vue d'un examen à date fixée, et par conséquent, de leur faire apprendre par cœur des textes entiers auxquels ils ne comprennent rien. Ce serait peine perdue. Tout cela serait oublié au bout de quelques jours et, si ce n'était pas oublié, le résultat serait pire que l'ignorance complète. Il faut que l'élève ait bien compris, et qu'il puisse se servir pratiquement et utilement des connaissances acquises.

Je préfère de beaucoup, et tous les industriels pensent de même, avoir dans un bureau ou dans un atelier, un garçon qui fera sans faute les calculs simples qu'on lui confie, plutôt qu'un autre à qui on aura enseigné l'algèbre, mais qui sera incapable de faire une addition sans faute. S'il peut se servir de l'algèbre et bien faire une addition, tant mieux, mais ce qui importe, c'est qu'il possède d'abord, à fond, le minimum indispensable, et *qu'il sache s'en servir.*

Ce résultat ne peut être obtenu, d'une part que si les programmes des cours sont très modestes au début; tant pis si ces programmes ne font pas beaucoup valoir les mérites du professeur. D'autre part, il faut recourir largement, très largement, aux interrogations, en faisant varier le plus possible la manière de poser, au fond, les mêmes questions, et cela jusqu'à ce qu'on soit sûr que l'élève possède vraiment ce qu'on lui a enseigné.

Ce résultat, certes, est beaucoup plus difficile à obtenir que de faire une série de leçons logiquement enchaînées et d'après un programme bien réglé, mais en laissant aux élèves le soin de se tirer d'affaire. C'est cependant la seule manière de préparer les élèves non pas à réussir à un examen, mais à l'utilisation pratique de leurs connaissances, but qu'il ne faut jamais perdre de vue sans quoi les cours perdent toute leur utilité.

Il semble donc nécessaire de donner au personnel enseignant des cours d'apprentis, *des directives très nettes* et très précises à cet égard, complétées évidemment par des indications pédagogiques qui s'imposent (Ne pas perdre de vue que la durée de l'attention qu'on peut demander à un jeune garçon est très limitée, etc.).

Ces directives seraient aussi utiles au personnel enseignant des cours pratiques, surtout en ce qui concerne la partie pédagogique pure, certains techniciens, très bons dans leur partie, n'ayant pas toujours de grandes aptitudes pédagogiques.

Enfin, en ce qui concerne les apprentis eux-mêmes, il ne serait pas mauvais de leur donner quelques directives générales (1).

(1) J'en prépare actuellement, sous le titre « Pour les débutants ».

Ouvrages d'enseignement. — Mais les directives ne suffisent pas : on ne saurait demander aux professeurs, qu'il s'agisse d'enseignement théorique ou pratique, de créer de toutes pièces le programme des matières de leur enseignement. Pour les maîtres, comme pour les élèves, il faut des ouvrages qui puissent leur servir de guides.

En ce qui concerne l'enseignement général théorique, il semble qu'on puisse recourir largement aux ouvrages de l'enseignement primaire ou classique. Pour l'enseignement professionnel c'est beaucoup plus difficile.

Pour le *dessin*, par exemple, beaucoup d'auteurs ne paraissent pas se douter que le but essentiel du dessin industriel, c'est de fournir, à l'ouvrier qui exécutera la pièce, les cotes d'après lesquelles il doit travailler. Le dessin lui-même n'est qu'une sorte de canevas, de support, indispensable certainement, destiné à lui montrer comment les cotes sont placées, et on sait que l'ouvrier ne *doit pas* mesurer de dimensions sur le dessin qui lui est remis. Suivant que les cotes sont plus ou moins bien placées, l'ouvrier perdra plus ou moins de temps dans l'exécution, aura plus ou moins de chances de se tromper, de se perdre, au milieu des cotes surabondantes (parfois surabondantes et insuffisantes à la fois). Combien d'ouvrages sur le dessin industriel sont muets sur cette question, pourtant de toute première importance?

Par contre, on trouve des ouvrages sur le même sujet encombrés de considérations géométriques, utiles certes, mais dont la vraie place est dans un traité de géométrie.

D'ailleurs, il semble que ce soit une tendance chez beaucoup d'auteurs, traitant un sujet dans un livre, d'y mettre quantité de choses superflues que souvent, d'ailleurs, ils ne peuvent traiter à fond, soit faute de place, soit faute de compétence. En pareil cas, il est préférable de renvoyer à des ouvrages spéciaux dont on utilise les notations et les formules afin de permettre aux élèves de s'y retrouver plus facilement.

Ce qui manque, c'est donc un ensemble, une collection d'ouvrages aussi réduits, condensés, aussi terre à terre que possible, avec des exemples numériques nombreux (car il ne s'agit pas ici pour les auteurs de briller, mais de se faire bien comprendre), ces ouvrages, établis suivant des directives communes, se complétant les uns les autres, comportant tous les mêmes notations, et évitant les répétitions inutiles. On pourrait consulter utilement à ce sujet, semble-t-il, les cours publiés par les écoles par correspondance.

Des indications utiles pourraient sans doute être fournies par des grandes entreprises, comme Schneider et Cie, la Compagnie d'Orléans (M. Lacoin) ou les chambres syndicales, les associations, etc., qui ont organisé d'excellents cours depuis longtemps.

Bibliothèques. — Il semble indispensable de mettre à la disposition des apprentis des livres qu'ils puissent emporter. Ces apprentis sont en effet occupés pendant la journée : les cours ne peuvent guère être que de courte durée, ayant lieu le soir, après le travail, avant ou après le repas du soir. Il faut donc que l'élève puisse revenir, à tête reposée, sur ce que lui a dit le professeur. En attendant qu'on puisse leur donner des *leçons-types* ces ouvrages ne doivent pas être nombreux. Ce qui importe, c'est qu'ils leur soient réellement utiles. Le mieux serait que les ouvrages mis à la disposition des élèves fussent utilisés par les professeurs pour faire leurs cours, de manière que les élèves puissent aisément s'y reporter.

En ayant recours aux bibliothèques municipales ou scolaires on pourra trouver des éléments précieux, notamment en ce qui concerne l'enseignement général théorique. Pour le reste, il faudrait avoir de petites bibliothèques spéciales aux cours. En tout cas, il est nécessaire de disposer pour les ouvrages destinés aux apprentis *d'un catalogue méthodique*, indiquant les catégories de lecteurs auxquels peuvent convenir les ouvrages, afin d'éviter (ce que j'ai vu) de donner aux apprentis des ouvrages qu'ils sont incapables de comprendre.

Enseignement pratique professionnel.

Tout le monde est à peu près d'accord maintenant pour reconnaître que l'enseignement pratique de la profession ne peut, d'une manière générale, être convenablement donné qu'à l'atelier.

Les jeunes apprentis sont des enfants et, comme tous les enfants, même les meilleurs et les plus dociles, ils doivent être bien et constamment surveillés, cette surveillance étant d'autant plus nécessaire qu'ils sont plus nombreux.

Pour les cours proprement dits, il semble qu'il y ait intérêt à ne pas dépasser 20 à 25 élèves par groupe. Pour le travail à l'atelier, ce nombre serait trop élevé.

J'ai indiqué dans une note, présentée au Congrès du Génie Civil en 1918 (*Un exemple de formation mutuelle des apprentis et des cadres*), comment, dans un atelier de mécanique générale (principalement travaux d'entretien et de réparations) j'avais encadré les apprentis et les ouvriers, et formé les cadres. En ce qui concerne les apprentis qui débutent, j'en avais fait une section spéciale, sous les ordres d'un ouvrier sérieux. Cette équipe d'apprentis constituait une sorte d'école de dégrossissage : on commençait par enseigner aux apprentis à limer et à buriner, à se servir des appareils de mesure (vernier et pied à coulisse), etc. ; lorsqu'ils étaient suffisamment formés, on les versait

dans les autres équipes, où ils exécutaient des travaux plus difficiles. Le nombre d'apprentis de cette équipe était variable, douze en moyenne, et n'a jamais dépassé quinze, car déjà, avec quinze élèves, le chef d'équipe commence à perdre le contrôle de ses élèves et il ne peut s'occuper de tous comme il le faudrait.

Ces enfants exécutaient des travaux courants, utiles. On choisissait spécialement, pour les confier à cette équipe, les travaux les plus faciles (séries de pièces simples, limage, ébarbage, etc.). Pour les tourneurs, j'ai pu réaliser quelque chose d'analogue à ce que j'avais fait pour les ajusteurs (quoique plus difficilement) en groupant les apprentis par 3 ou 4 sous les ordres d'un bon ouvrier chef d'équipe, qui, en même temps qu'il exécutait son travail, s'occupait des apprentis qui lui étaient confiés, pour lesquels on choisissait, de même, les travaux les plus faciles.

Là encore, les résultats obtenus ont confirmé ce fait général que les enfants ainsi dirigés faisaient des progrès incomparablement plus rapides que ceux dont personne ne s'occupait spécialement, ce qui arrive trop souvent dans les ateliers où les apprentis travaillent tantôt avec l'un, tantôt avec l'autre, sans chef attitré.

Étant donnée la variété des travaux à exécuter dans les ateliers dont je viens de parler, on trouvait très suffisamment de quoi occuper utilement les apprentis sans avoir besoin de leur faire faire des travaux destinés uniquement à leur instruction, ce qui se serait traduit par une dépense inutile de matière, de temps, et de frais généraux.

Dans la plupart des ateliers de mécanique générale, pour peu qu'on veuille s'en donner la peine, il en sera de même, et l'on trouvera facilement des travaux pouvant être exécutés par les apprentis débutants, ce qui, en les occupant utilement eux et leurs chefs, permet de couvrir les frais généraux qu'ils occasionnent tout en les instruisant au moins aussi rapidement qu'en les mettant à des travaux inutiles (d'autant plus que, pour de multiples raisons, il est toujours mauvais de faire exécuter des travaux que tout le monde sait ne devoir servir à rien).

La raison d'être, le but de toute industrie, c'est la production utile, et l'apprentissage n'est que le moyen de préparer les apprentis à cette production. C'est donc un non-sens que de leur faire exécuter un travail inutile. De plus, s'ils exécutent un travail utile, on peut les payer, sans compter qu'en avançant ou en retardant les augmentations de salaires suivant les progrès faits, on a sur eux un puissant moyen d'action.

Ce qui précède vise surtout les ateliers importants. Dans les petits ateliers, il arrive que, pour de multiples causes, ne serait-ce que par manque d'outillage, l'enseignement pratique ne peut être donné complètement.

C'est pour ces cas qu'il y a lieu d'envisager des cours pratiques complémentaires faits soit au lieu ordinaire des cours, soit de préférence (lorsque ce sera possible) dans d'autres ateliers. Dans ces cas, il y aura lieu de répartir les élèves en groupes peu nombreux (pas plus d'une dizaine). Autrement ils ne peuvent tous écouter ni demander d'explications.

Sanctions. — La discipline, quelle qu'elle soit, suppose une surveillance et des sanctions. Meilleure sera la surveillance, moins il y aura besoin de sanctions. Avec de petits groupes, la surveillance est facile. Dans le cas que j'ai cité, la surveillance était assurée par le chef d'équipe. Les sanctions, c'étaient d'abord les notes qu'il donnait : on lui avait préparé des feuilles autographiées avec le nom des élèves. Il y pointait les notes qu'ils avaient méritées.

Ce travail lui prenait peu de temps et j'ai eu occasion de m'assurer qu'il était très consciencieusement fait, et très exact en général. Ces feuilles de notes servaient à faire les moyennes mensuelles, qu'on reportait sur les fiches individuelles des apprentis, avec les faits intéressants (absences, augmentations de salaires, fautes commises, etc.) de sorte qu'on savait toujours à quoi s'en tenir sur le compte d'un apprenti, à n'importe quel moment. C'est là une chose importante, et pas seulement pour les cours.

Lorsqu'un apprenti ne donnait pas satisfaction, on retardait son avancement, on le mettait à des travaux plus désagréables que d'autres (comme par exemple chauffe de fours à rivets). Ils avaient comme encouragement la perspective d'augmentation de salaires, du passage dans d'autres équipes, lorsque leur conduite était convenable et leurs capacités suffisantes.

Pour les cours complémentaires (en dehors des heures de travail), il n'y a jamais eu rien à faire au point de vue de la discipline; on disait seulement aux élèves : « Vous êtes libres de venir ou de ne pas venir. Si vous venez, tenez-vous tranquilles, sinon restez chez vous. » Et ceci suffisait, les indésirables s'abstenaient de reparaître. Manquant de personnel enseignant, j'étais obligé de restreindre les effectifs, et de ne conserver que les élèves susceptibles de profiter utilement des cours.

D'ailleurs, à moins de se trouver dans le cas exceptionnel d'enfants tout à fait vicieux (et qu'il est bien préférable d'éliminer au plus vite, car ils peuvent rendre toute discipline impossible), les enfants deviennent un peu ce qu'on les fait : s'ils sont bien surveillés, s'ils ont constamment à travailler, et s'ils sentent qu'on s'occupe vraiment d'eux, en les renseignant quand ils sont embarrassés, la discipline n'est pas difficile à maintenir, et il est rare qu'on ait à appliquer des sanctions.

Lieu des cours; *archives*; *bibliothèque.* — Dans les grands établissements

industriels, on peut trouver des locaux propres à faire des salles de cours, où l'on conserve en même temps la bibliothèque et les archives. Les feuilles de notes, etc., peuvent être gardées par le bureau du personnel, qui les utilise pour compléter les fiches des apprentis.

Lorsque les cours sont faits en dehors des établissements industriels, il ne semble pas qu'il y ait non plus de difficultés à prévoir de ce côté, les municipalités disposant la plupart du temps de salles convenables (par exemple pour d'autres cours). Il suffit d'y avoir une armoire pour y déposer les quelques archives et la bibliothèque des cours complémentaires.

Personnel enseignant, sa rémunération. — L'enseignement complémentaire pour les apprentis ne peut bien fonctionner qu'avec un personnel enseignant convenable.

En ce qui concerne l'enseignement à l'atelier par les autres ouvriers, les chefs d'équipe, il ne semble pas qu'il puisse y avoir de difficultés, à en juger notamment d'après ce qu'il m'a été donné de voir dans l'exemple de formation mutuelle que j'ai cité. En effet, je ne pouvais espérer réussir qu'avec la collaboration du personnel, surtout des ouvriers et chefs d'équipe auxquels étaient confiés les apprentis.

Cette collaboration, ils l'ont donnée pleinement et de tout cœur, se dévouant à leur tâche, faisant tous leurs efforts pour instruire les apprentis qui leur étaient confiés, leur donnant des notes d'une manière impartiale, et, de plus, les cotant exactement à leur valeur.

C'est pour moi un devoir en même temps qu'un plaisir de leur rendre ici la justice qui leur est due.

Ces faits, et bien d'autres, permettent d'exprimer la conviction que, pour l'enseignement pratique, l'on trouvera parmi les ouvriers, chefs d'équipe et contremaîtres, etc., des éléments précieux capables de rendre de grands services. Il en sera de même en ce qui concerne l'enseignement théorique. pour lequel on trouvera, dans l'enseignement primaire surtout, les concours nécessaires. Ici, une question se pose : celle de la rémunération. Il y a des professeurs bénévoles qui désirent faire leur cours gratuitement par pur dévouement, et qui continuent ainsi longtemps. On ne peut que les admirer. Mais, d'une manière générale, il semble imprudent de compter, pour faire des cours qui aient chance de durer et de donner des résultats sérieux, sur des professeurs non payés. Le dévouement gratuit se lasse généralement vite. Bien vite, la préoccupation de préparer les cours, de les faire à dates et à heures fixes, devient fastidieuse. De plus, il est bien difficile d'obtenir qu'un professeur travaillant gratuitement suive des directives déterminées, consente à une collaboration étroite avec d'autres ou admette des observa-

tions. Dans ce cas, on éprouve d'ailleurs une certaine réserve à les faire. Peu à peu le zèle et la régularité du début disparaissent, les cours languissent et meurent.

Il semble donc que, sauf exceptions, il y ait lieu de prévoir une rémunération pour le personnel enseignant.

Je ne discuterai pas ici la question de savoir comment se procurer des ressources. Je crois que, en dehors des subventions de l'État, il sera parfaitement possible, pour commencer, d'en trouver de suffisantes auprès des intéressés, chambres de commerce, syndicats, conseils généraux et municipaux, etc., même par sollicitation directe des patrons et des personnes s'intéressant aux apprentis, ainsi qu'il m'a été donné d'ailleurs de le constater dans le cas que je vais citer.

Création des cours. — Tout le monde se rendant compte de la nécessité des cours complémentaires de l'apprentissage, la propagande ne doit plus porter sur le principe, mais sur la réalisation, et la réalisation rapide, pour donner à notre commerce et à notre industrie les éléments qui leur manquent dans la lutte économique actuelle. Comment réaliser? Dans la plupart des localités, on trouve beaucoup de bonnes volontés qui ne demandent qu'à se manifester utilement.

Ainsi, il m'a suffi d'une causerie faite à un cercle de commerçants et d'industriels d'une ville de 18.000 habitants, pour que se constitue immédiatement un comité; il a ouvert une souscription, qui a rapporté du premier coup 1.300 f sans compter 7 à 800 f de subventions diverses, de la Chambre de Commerce du chef-lieu du département et de syndicats. Une quarantaine d'élèves se sont fait inscrire de suite; les patrons ont accepté facilement de les laisser sortir un quart d'heure plus tôt pour pouvoir arriver à temps aux cours qui commençaient à 18 h.

Cette bonne volonté, on ne saurait trop le répéter, se manifeste dans tous les milieux, et l'on trouve beaucoup d'ouvriers disposés à faire le sacrifice d'une partie de leur temps libre pour instruire les jeunes apprentis. La bonne volonté est pareille chez les apprentis dont beaucoup ont le désir de compléter leur instruction. Le succès des écoles par correspondance en est la preuve manifeste.

Ces apprentis sont tout disposés à venir au cours en dehors des heures de travail. Aussi, tout au moins au début, semble-t-il qu'il n'y ait pas lieu de prendre les heures de cours sur le temps de travail (ce qui peut être très gênant pour les patrons, surtout les petits patrons).

Ainsi, on trouvera des élèves, des professeurs, et surtout, tant qu'on voudra, des personnes pour constituer des comités de patronage et autres.

Mais la bonne volonté, et même la disposition de moyens matériels relativement importants, ne suffisent pas pour créer des cours professionnels utiles. Je pourrais citer des cas où l'on a fait des dépenses importantes pour installer des machines-outils et où les résultats obtenus ont été pratiquement nuls, faute souvent, il faut bien le dire, de connaissances et d'aptitudes pédagogiques suffisantes, faute de liaison avec les patrons des apprentis, liaison toujours utile et souvent nécessaire, faute aussi et surtout de programme, de directives, ainsi que d'une impulsion, d'une direction d'ensemble assurant la bonne coordination et l'utilisation intégrale des efforts de tous.

Impulsion et coordination nécessaires. — Pour assurer cette impulsion et cette coordination, il ne faudrait pas compter d'une manière générale sur l'action de comités, de groupements, quel que soit leur nom.

Certes, ces groupements sont utiles, pour faire la propagande, pour réunir les fonds, pour donner des avis, etc. Mais tout cela est une besogne en quelque sorte passive, effectuée parce que le groupement a reçu une impulsion. Sans impulsion, sans directives, sans agents d'exécution, rien d'utile n'en sort. Qui peut agir et donner cette impulsion?

La première pensée de beaucoup serait de recourir pour cela à l'État et au Parlement. Parfois, l'intervention de l'État est indispensable.

Mais, dans le cas actuel, sans méconnaître en rien la bonne volonté, le désir de bien faire des législateurs, du Gouvernement, de l'Administration en général, et du Sous-Secrétariat de l'Enseignement technique en particulier, bonne volonté très réelle surtout pour ce dernier, le simple examen des faits oblige à reconnaître que l'action législative, gouvernementale ou administrative ne peut s'exercer dans la circonstance qu'avec beaucoup de difficultés et sans grandes chances de succès, tant pour les raisons générales indiquées au début de cette note que pour les suivantes.

Suivant les industries particulières à chaque localité, il y aura lieu de développer tel ou tel cours, d'en supprimer d'autres. Dans nombre d'endroits, il existe déjà des organisations d'enseignement professionnel plus ou moins développées ou spécialisées, soit publiques, soit dépendantes d'établissements industriels. On ne peut ni les négliger, ni les supprimer, mais souvent leur utilité pourrait être singulièrement augmentée par quelques modifications, une meilleure organisation, des directives et des programmes plus précis, une aide discrète laissant aux premiers organisateurs tout leur mérite, en prenant bien garde de ne rien faire qui puisse porter ombrage au corps enseignant ou aux groupements s'occupant de ces enseignements, qui peuvent être plus ou moins jaloux de leur autorité et de leur indépendance.

C'est quelquefois aussi le cas pour les bonnes volontés qu'on rencontre de

tous les côtés, parfois seulement latentes, parfois ayant cherché à se manifester effectivement, mais n'ayant pu donner leur plein effet faute de savoir comment faire. Elles peuvent faire beaucoup mais demandent à être traitées avec ménagement.

Enfin, il faut bien le dire, nous sommes encore dans une période de tâtonnements, qui durera sans doute longtemps à cause de la complexité du problème. Il y a des difficultés d'établissement de programmes d'ensemble et de détail, absence de directives convenables, souvent absence de moyens d'action, d'ouvrages appropriés, de leçons-types pour les diverses spécialités, le tout établi suivant de communes directives d'ensemble et de détail. Surtout, nous manquons de personnel enseignant. On ne peut guère songer à former actuellement ce personnel (souvent bénévole) que par des circulaires, des publications, rarement par des conférences spéciales.

Dans ces conditions, il est évident qu'une action de l'État, appuyée sur une législation spéciale, *ne peut pas donner de bons résultats*. Une législation, une réglementation officielle sont forcément rigides et générales. Comme, dans la circonstance, les conditions sont souvent encore mal déterminées, et en tout cas essentiellement différentes et variables, il y a opposition manifeste de principe entre ces conditions et l'intervention législative, qui, par suite, est presque fatalement condamnée à l'insuccès, actuellement.

C'est surtout pour ces raisons fondamentales que la législation de l'apprentissage a présenté et présente encore tant de difficultés et reste souvent lettre morte. On peut bien fixer des principes généraux, mais dès qu'on veut les appliquer, on se trouve arrêté.

Il faut donc considérer l'intervention législative ou administrative comme une ressource extrême à laquelle il ne faudrait penser qu'en tout dernier ressort, et, dans l'intérêt général, comme dans l'intérêt particulier des apprentis et des patrons, recourir d'abord et avant tout à une action plus souple, susceptible de se plier à toutes les circonstances pour en tirer le meilleur parti possible, c'est-à-dire faire de l'arbitraire pour commencer.

Organisme spécial. — Qui peut donc exercer cette action, à la fois générale et particulière, portant en même temps sur l'instruction générale des apprentis et sur leur instruction spéciale, se pliant à toutes les circonstances, utilisant toutes les ressources existantes, organisant, prévoyant, coordonnant, contrôlant, commandant, à la fois discrètement et efficacement? Il semble bien que les intéressés eux-mêmes, commerçants et industriels, par l'intermédiaire de leurs groupements, sont mieux qualifiés pour cela que personne. Cette conception apparaît comme parfaitement réalisable, pour peu qu'on considère le mouvement de concentration, qui se développe

tous les jours dans les groupements industriels et commerciaux et qui aboutit à de vastes fédérations.

En ce qui concerne la métallurgie, par exemple, ces grands groupements professionnels, faisant surtout appel à la collaboration des sociétés techniques telles que la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale, sont tout à fait qualifiés pour s'occuper du développement de l'enseignement des apprentis. Ils peuvent créer un *organisme spécial*, assez souple, assez adapté aux circonstances pour utiliser au maximum tout ce qui existe déjà, le développer, le perfectionner, combler les lacunes nombreuses que présente encore l'enseignement des apprentis, en utilisant toutes les bonnes volontés qui ne demandent qu'à s'employer, faisant appel à toutes les collaborations, de l'État, des municipalités, des groupements ouvriers, etc.

Il ne saurait être question d'indiquer ici la constitution détaillée d'un tel organisme. A première vue, il semble qu'il pourrait comporter un comité d'initiative peu nombreux, mais compétent, pour tracer les directives essentielles et surveiller la marche générale. Les réalisations seraient confiées à un service central comprenant un chef avec les auxiliaires nécessaires et, éventuellement, des agents et des succursales en divers points du pays.

Le programme d'action pourrait être :

a) Réunir les éléments d'informations nécessaires, tant sur l'opportunité de création ou de développement de cours que sur les procédés et ouvrages d'enseignement, etc.

b) Établir des directives et des programmes; rechercher les ouvrages d'enseignement ou provoquer la publication de ces ouvrages (et de leçons-types); documenter et guider les directeurs et professeurs de cours et, éventuellement les élèves de ces cours;

c) Apporter son concours, et au besoin prendre l'initiative pour la création ou le développement de cours, d'écoles, de bibliothèques techniques, en utilisant le plus possible ce qui existe déjà, de préférence en guidant les bonnes volontés, souvent latentes et qui s'ignorent (propagande éventuelle), en s'effaçant le plus possible;

d) Développer et entretenir les relations entre ceux qui s'occupent de ces questions;

e) Faciliter aux apprentis le travail personnel (surtout là où la création de cours suffisants n'est pas possible), par l'indication d'ouvrages, éventuellement par la création de bibliothèques circulantes ou de cours par correspondance, que ces cours soient faits spécialement par l'organisme en question, seul, ou en collaboration avec les établissements actuels d'enseignement direct ou par correspondance.

Ce programme sommaire, il est à peine besoin de le dire, n'est qu'une

ébauche. Sa réalisation ne pourrait en tout cas être que progressive, plus ou moins rapide et complète, suivant les moyens matériels employés, qui devront être importants si l'on veut aboutir vite à des résultats tangibles.

C'est l'intérêt des industriels et des commerçants, *à tous les points de vue*, car, ainsi, ils prépareront rapidement le personnel instruit qui leur est de plus en plus indispensable, et ils éviteront l'intervention législative dont les résultats ne pourront être équivalents à ceux d'un tel organisme. De plus, en consentant tout de suite les sacrifices indispensables, ils feraient l'économie des charges infiniment plus considérables qui leur incomberaient infailliblement un peu plus tard s'ils attendaient l'intervention de l'État, qui se produira fatalement, avec tous ses inconvénients, s'ils ne prennent les devants. Il ne semble d'ailleurs pas douteux que les commerçants et industriels ne manifestent à cet égard toute la largeur d'idées et la générosité désirables, sentiments qui se généralisent de plus en plus chez eux.

Déjà, beaucoup de chambres de commerce, syndicats, groupements divers, municipalités, font des sacrifices importants en faveur de l'apprentissage; il suffit de les amplifier, et surtout de les bien utiliser. Au reste, l'exemple que les industriels viennent de donner par la création, en dehors de toute action de l'État, de caisses de compensation pour charges de famille est probant à cet égard.

Du moment que, dans un but de justice sociale, ils ont consenti à des sacrifices se chiffrant par dizaines de millions tous les ans, il n'est pas douteux qu'ils en consentiraient volontiers d'autres pour résoudre cette question de vie ou de mort qu'est pour l'industrie et le commerce de notre pays, l'organisation rapide et complète de l'enseignement des apprentis (1).

PAUL LECLER,
Ingénieur des Arts et Manufactures,
ancien conseil administratif de la Compagnie de Commentry-Fourchambault et Decazeville,
Inspecteur départemental de l'Enseignement technique.

(1) Des faits intéressant l'apprentissage se sont produits depuis la rédaction de cette note.

D'abord, le Congrès de l'Apprentissage de Lyon, en octobre 1921, qui a adopté des conclusions trop longues pour être reproduites ici, et qu'on trouvera notamment dans la *Journée industrielle* des 16 et 17 octobre 1921.

On a discuté l'autorité de ce congrès, parce qu'il aurait été organisé hâtivement, pendant les vacances, de sorte que les grands groupements industriels et commerciaux n'auraient pu y donner convenablement leur avis. De plus, tous les rapporteurs des sections étaient des fonctionnaires.

En tout cas un nouveau congrès doit avoir lieu l'an prochain.

***

Un projet de loi a été voté par le Sénat, destiné à mieux assurer dans les écoles primaires la fréquentation scolaire. Une disposition rendant cette fréquentation obligatoire jusqu'à 14 ans a été écartée, sur l'observation de M. Albert. Ce n'est pas lorsqu'on n'arrive pas déjà à assurer la

fréquentation scolaire jusqu'à l'âge du certificat d'études qu'on peut penser à prolonger encore la durée de la scolarité.

Puis, beaucoup d'écoles primaires n'ont qu'un maître ou deux, c'est-à-dire une ou deux classes pour tous les enfants d'âge scolaire de 6 à 13 ans. Comment y recevrait-on les enfants de 13 à 14 ans? Qu'y feraient-ils? Ils perdaient leur temps, troubleraient les classes, sans aucune utilité. Du reste, la preuve en est faite. Il est prévu dans les écoles primaires des cours complémentaires pour les élèves ayant obtenu leur certificat d'études et, à part quelques exceptions, ces cours n'existent pas.

Cette tendance à retarder l'âge auquel les enfants peuvent entrer en apprentissage présente, pour le commerce et l'industrie, des inconvénients sur lesquels il est inutile d'insister. Elle s'est manifestée également en Allemagne, et s'est heurtée à l'opposition de la Société des Ingénieurs allemands (*Verein deutscher Ingenieure Nachrichten* du 30 novembre 1921). Les commerçants, les industriels, les techniciens se rendent en effet beaucoup mieux compte des difficultés réelles de l'apprentissage que les législateurs ou les professeurs, et sont plus aptes qu'eux à y trouver des remèdes efficaces.

A ce point de vue, un article, nourri de faits, vient d'être publié dans la *Revue générale d'Électricité* (1er novembre 1921, p. 739) sous le titre « L'apprentissage dans l'industrie mécanique », par M. Maurice Lacoin, ingénieur en chef du Matériel et de la Traction à la Compagnie du chemin de fer d'Orléans. M. Lacoin y expose brièvement les résultats obtenus à la Compagnie d'Orléans, ainsi que les caractéristiques du régime adopté : suppression du travail inutile et paiement d'un salaire dès le début; — instruction théorique et pratique; travail en équipes spéciales dans l'atelier.

Il cite ensuite quelques résultats d'initiative privée obtenus par exemple à Nantes, par l'entente des patrons, ainsi qu'à Paris, Bordeaux, Montluçon, etc.

Sa conclusion est que la loi a besoin d'être précédée par l'initiative privée et l'entente de tous les industriels.

M. Lacoin met bien en lumière ce fait capital que, pour l'instruction de l'apprenti, le travail productif, permettant, par suite, de lui donner un salaire, est équivalent au travail improductif, n'ayant pour but que l'instruction :

« Certains chefs d'établissements, ayant insisté pour consacrer la première année tout entière « à des travaux progressifs sans valeur industrielle, ont été laissés libres de le faire à titre « d'essai; mais les concours de fin d'année ont montré que leurs apprentis n'en savaient pas « plus à la fin de l'année que ceux des dépôts ayant suivi le régime normal comportant l'utili- « sation pratique de l'apprenti. »

La conclusion pratique à en tirer est que, pour former les jeunes apprentis mécaniciens, les dépenses colossales d'écoles spéciales, seraient du pur gaspillage puisque, en organisant l'apprentissage dans l'atelier et en y faisant du travail utile, nous arriverons à d'aussi bons résultats, et sans qu'il en coûte rien, comme l'indique encore M. Lacoin :

« L'apprentissage a donc payé ses frais, et tous les avantages indirects que la Compagnie et « le pays retireront de cette organisation sont obtenus gratuitement. »

On peut voir ici en germe une combinaison qui, liant l'action de l'atelier et de l'école, combinant pour les jeunes gens de 12 à 14 ou 15 ans, au lieu d'une prolongation de séjour uniquement à l'école, le travail à l'école et à l'atelier, le matin à l'école, le soir à l'atelier par exemple, permettrait à notre industrie, mieux et plus vite que par tout autre moyen, la formation rapide de ces techniciens instruits qui lui manquent à l'heure actuelle, et cela, sans dépenses, ou du moins, avec des dépenses insignifiantes comparées à celles qu'exigerait toute autre manière de faire.

Pour cela, il faut l'entente, la coopération de tous, et c'est un argument de plus, extrêmement puissant, à l'appui de la création de l'organisme dont il a été question plus haut.

LES ACCÉLÉROMÈTRES AUCLAIR ET BOYER-GUILLON (1)

MONSIEUR LE PRÉSIDENT, MESSIEURS ET CHERS COLLÈGUES,

Vous vous rappelez peut-être que dans le courant d'octobre 1914 je devais faire ici une communication sur les Accéléromètres *Auclair et Boyer-Guillon*. Cette communication n'a pu avoir lieu; la guerre contre l'Allemagne nous ayant obligés à orienter notre activité dans une tout autre direction. Mais c'est pour moi aujourd'hui une grande joie de nous retrouver ici après cette trop longue séparation. Ce laps de temps, bien mal utilisé pour nos recherches techniques, nous a cependant permis d'apporter quelques perfectionnements et dispositifs nouveaux à nos appareils et c'est ce dont je vais vous entretenir ce soir.

Accéléromètre (Construit par le Laboratoire d'essais des Arts et Métiers). — Je décrirai tout d'abord le premier modèle de ces appareils.

Cet appareil, qui était au début employé comme un accéléromètre à maxima, se compose (fig. 1) d'une masse pesante M en bronze du poids de 1,772 kg, guidée par un levier L en acier en forme de T, assujetti à tourner autour de l'axe D_1D_2. Le réglage de ce bras de levier se fait à l'aide de deux vis à pointes D_1p_1 et D_2p_2 munies de contre-écrous E_1E_2 qui viennent les bloquer après le réglage précis. Le levier de guidage L, et ses tourillons sont portés par les deux chaises en bronze Q″, Q″ boulonnées sur le socle général H de l'appareil.

La masse M, destinée à osciller suivant la verticale est soulevée par un ressort R, qui est logé dans un évidement cylindrique percé dans l'axe de la masse. Ce ressort, du type de ceux employés dans les indicateurs de Watt pour machines à vapeur, est interchangeable, et peut être à volonté remplacé par un autre, dont la flexibilité doit être choisie de manière à correspondre à l'essai en cours. Il est vissé à sa partie supérieure, en V, dans la pièce à tête molletée U, qui est elle-même vissée dans la pièce M dont elle fait, pour ainsi dire, partie. Son autre extrémité est supportée par la tige guide NN_1 qui fait corps avec la vis *Smn*, mais dans laquelle elle peut tourner. Cette

(1) Communication faite en séance publique par l'auteur, le 12 février 1921.

vis se termine à sa partie inférieure par une partie soigneusement taraudée pénétrant dans un écrou correspondant T, qui fait partie du fer à cheval

Fig. 1. — Premier modèle du Laboratoire d'Essais du Conservatoire des Arts et Métiers. Élévation et coupe verticale AB.

Q'TTQ', boulonné sur le socle et supportant tout le système de suspension.

La tige NN_1 est guidée à sa partie inférieure par un écrou tubé G, vissé

en dessous du socle H. La vis Smn, dont nous venons de parler, a pour objet de mesurer et de faire varier à volonté la tension du ressort R, qui vient appliquer la masse M contre la butée T. C'est dans ce but qu'elle porte à sa partie supérieure la pièce molletée m, qui saisie par l'opérateur entre le pouce et l'index, permet, en tournant la vis de gauche à droite de remonter d'autant la tige NN_1 et, partant, d'augmenter la compression du ressort R. Une échelle q, graduée en millimètres, et fixée sur l'étrier Q'TTQ', permet de lire exactement la quantité dont on a comprimé le ressort R. A cet effet, la vis tendeur Sm porte un plateau n, gradué sur sa circonférence, permettant de lire le centième de millimètre comme sur un palmer.

Enfin, l'appareil est complété par l'interrupteur de courant a, z, t, qui permet de se rendre compte du moment précis où la tension du ressort est suffisante pour correspondre à la valeur de l'accélération que l'on mesure. Cette condition est atteinte quand la rupture du courant n'a plus que tendance à se produire.

Cet appareil « interrupteur » comporte une borne a montée sur un support isolant y, et une pièce mobile zxt, servant à établir ou à couper le courant, qui est montée sur le support o non isolé. Cette pièce mobile est constituée par un axe xt passant à frottement doux dans la tête du support o, elle est rappelée vers le bas par un ressort. Une vis v à pointe platinée, munie d'un contre-écrou z, sert à régler le contact avec précision. Une butée k, portée par la masse M, vient actionner l'interrupteur en agissant sur l'axe xt. Le contact est rompu quand la masse M bute en T, il est au contraire établi quand la masse M a tendance à quitter sa butée T. Le passage de la position de rupture à celle de contact, ou *vice versa*, est transmise à l'oreille de l'expérimentateur par une membrane téléphonique, montée en série avec un accumulateur entre les bornes a et b; c'est ce que nous appelons l'appareil auditif. Cette idée de l'emploi d'une membrane téléphonique est due à M. Pérot alors Directeur du Laboratoire d'essais du Conservatoire national des Arts et Métiers. Dans les appareils nouveaux cet interrupteur est supprimé.

Mesure fournie par l'accéléromètre. — Au moment où la masse d'inertie a tendance à se décoller de sa butée, l'équilibre des forces auxquelles la masse M est soumise, nécessite que l'on ait :

$$T = P + m\gamma \qquad (5)$$

avec $P = t$ tension du ressort en kilogrammes mesurée au repos, c'est ce que nous appelons le zéro de l'appareil.

T est la tension du ressort au moment de la mesure, exprimée en kilogrammes d'après l'échelle du ressort, t, la tension du ressort au repos, P, le

poids de la masse d'inertie (1,772 kg); g l'accélération due à la pesanteur, soit 9,81 m à Paris.

En remplaçant, dans l'équation (5), P et m par leur valeur, on a :

$$\text{(a)} \qquad \gamma = (\mathrm{T} - t)\frac{g}{\mathrm{P}} = 5{,}54(\mathrm{T} - t). \qquad (6)$$

Il nous paraît intéressant de donner ici l'équation générale de cet appareil comparé aux appareils analogues.

L'ensemble de l'appareil est porté par un bâti disposé de telle manière que les conditions suivantes soient réalisées (fig. 2) :

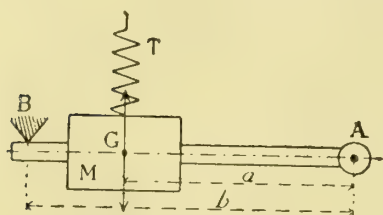


Fig. 2. — Dessin schématique de l'accéléromètre.

1° L'axe A est horizontal;

2° Lorsque la masse M est en contact avec la butée B, le centre de gravité G de cette masse est dans le plan horizontal passant par l'axe A;

3° La ligne d'action du ressort T est verticale, et elle passe par le centre de gravité G de la masse M.

Nous supposons enfin que la masse du levier et de l'axe d'oscillation est négligeable par rapport à la masse de M.

Dans ces conditions de construction bien définies, l'appareil est fixé sur le corps en mouvement à étudier. Nous supposons que les déplacements de ce corps peuvent être assimilés à des mouvements d'ensemble purement rectilignes et verticaux et nous nous proposons de définir d'une manière rigoureuse comment les accélérations peuvent être mesurées à l'aide de l'appareil.

Ce que nous observons, c'est le mouvement relatif de la masse M par rapport à son bâti; faisons pour un instant abstraction de la butée.

On sait que le mouvement relatif peut être défini par les mêmes équations, que le mouvement absolu, à la condition d'adjoindre aux forces réellement agissantes les forces dites apparentes. Dans le cas où le mouvement d'entraînement est une translation, ces forces se réduisent à la force d'inertie d'entraînement $\frac{\mathrm{P}}{g}\gamma$; c'est notre cas.

Nous devons donc étudier le mouvement de la masse M, sous l'action combinée de cette force et des forces réellement agissantes. Ces forces

(a) Bien entendu cette formule suppose que le centre de gravité de la masse se trouve sur la ligne d'action du ressort. S'il n'en était pas ainsi il serait facile d'introduire les corrections voulues qui porteraient sur la constante 5,54.

sont le poids P de la masse, la traction du ressort T, les réactions de ses supports sur l'axe de suspension A.

Le mouvement de la masse M est une rotation de vitesse angulaire ω, autour de l'axe A. Nous le définirons par l'équation qui résulte du théorème de la variation du moment de la quantité de mouvement.

La quantité de mouvement de la masse M tournant autour de l'axe A, à la vitesse ω est :

$$M(\rho^2 + a^2)\omega$$

expression dans laquelle a est la distance de l'axe A au centre de gravité G de la masse M et ρ le rayon de giration de cette masse par rapport à un axe parallèle à A, et passant par son centre de gravité. On a ainsi, en remarquant que les lignes d'action des trois premières forces agissant sur M sont verticales, et passent par son centre de gravité :

$$M(\rho^2 + a^2)\frac{d\omega}{dt} = -\frac{g}{P}\gamma a + (T - P)a. \qquad (7)$$

Cette équation est rigoureuse tant que l'on suppose, que la masse d'inertie s'écarte assez peu du plan horizontal de l'axe A, pour qu'il soit permis de négliger l'obliquité des forces $\frac{P}{g}\gamma a$, T et P. Elle nous suggère trois manières de concevoir l'application de l'instrument.

1° *Vibromètre.* — Nous pouvons supposer, que l'action du ressort T est constamment égale au poids de la masse d'inertie; l'équation prend alors la forme :

$$M(\rho^2 + a^2)\frac{d\omega}{dt} = -\frac{P}{g}\gamma a$$

par conséquent, l'accélération angulaire $\frac{d\omega}{dt}$ est proportionnelle à l'accélération linéaire γ du corps en mouvement sur lequel est fixé l'accéléromètre. Il en résulte que les écarts angulaires de la masse M sont proportionnels aux déplacements linéaires du support de l'instrument, et celui-ci peut tracer un diagramme de ces déplacements. Il est clair que l'amplitude maxima du déplacement doit demeurer inférieure à la valeur à partir de laquelle la condition d'applicabilité de l'équation cesse d'être remplie.

L'instrument ainsi employé serait un vibromètre.

2° *Pendule Desdouits.* — On peut disposer l'appareil de manière à faire varier la tension du ressort d'une façon continue, de telle sorte que $\frac{d\omega}{dt}$ reste nul : dans ces conditions, si, au début de l'expérience, la masse M était au

repos relatif, la vitesse angulaire $\frac{d\omega}{dt}$ aura toujours une valeur très faible, et si la tension du ressort est proportionnelle à l'élongation angulaire de M, ce sera cette élongation qui mesurera l'accélération. Mais on conçoit que l'appareil ne puisse ainsi être employé que pour la mesure d'accélérations assez lentement variables.

3° *Accéléromètre.* — Enfin, s'il s'agit de déplacements d'amplitude quelconque, et d'accélérations rapidement variables, il faut avoir recours à une autre disposition pour que la butée de l'appareil, aux extrémités de sa course, ou ses lancés, ne perturbent pas les mesures.

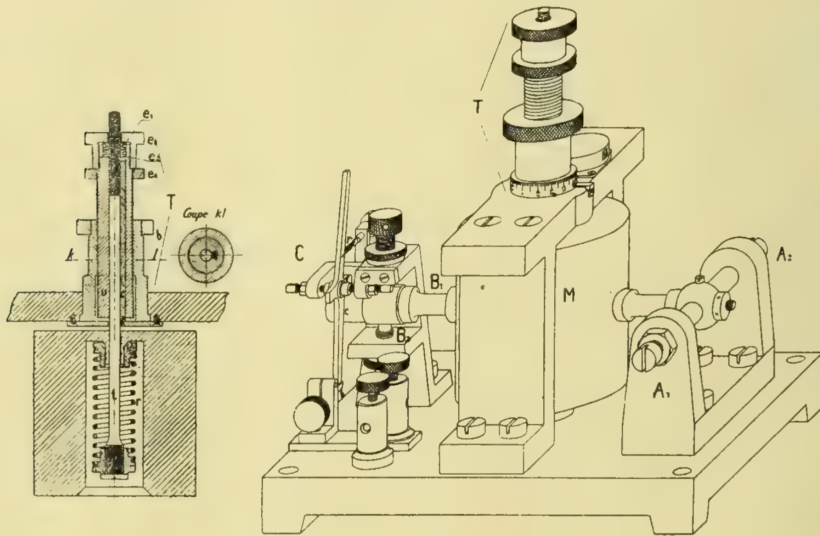


Fig. 3. — Modèle étudié par le Laboratoire d'Essais des Arts et Métiers permettant de faire agir le ressort à la traction ou à la compression de mesurer $\pm\gamma$.

Imaginons donc que T soit supérieur à P, mais que la masse M soit maintenue immobile par une butée. Tant qu'elle restera en contact avec cette butée, $\frac{d\omega}{dt}$ demeura nul, et l'équation (7) devra être remplacée par la suivante, qui définit la réaction de la butée :

$$0 = -\frac{P}{g}a\gamma + (T - P)a - bK.$$

De cette équation, on ne peut en général pas déduire la valeur de K, puisqu'on n'a qu'une relation pour définir γ et K, mais au moment où γ atteint une valeur telle que la masse M se met en mouvement, la valeur de la réaction de la butée passe par zéro, et par suite, à cet instant, la valeur de γ se trouve mesurée; et l'on retombe ainsi sur l'équation (6) donnée plus haut.

On voit ainsi le caractère, qui différencie cet instrument des deux précédents; un asservissement plus grand de la masse d'inertie a permis d'aborder un cas où les deux autres appareils étaient impuissants, le premier à cause de l'étendue des déplacements du corps en mouvement, le second à cause de la rapidité avec laquelle varie l'accélération du corps. Toutefois, cette extension de l'emploi du pendule d'inertie n'a pu être obtenue, qu'en sacrifiant dans ce cas particulier la continuité des mesures.

Voir ci-contre les figures 3, 4, représentant la première un accéléromètre de ce type construit par le Laboratoire d'essais des Arts et Métiers et la deuxième un appareil de même type exécuté par le Laboratoire de M. Koenigs.

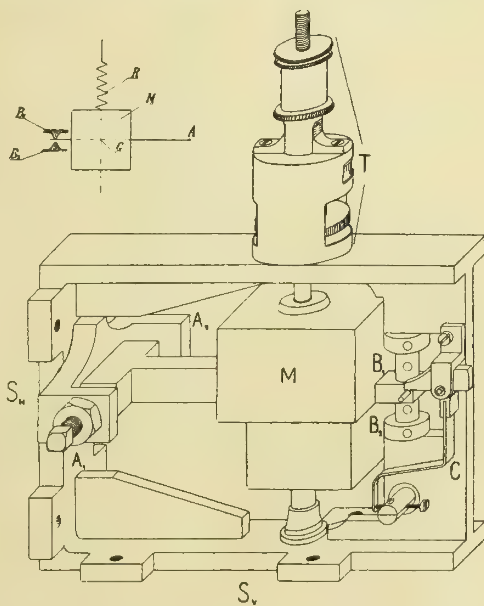


Fig. 4. — Modèle étudié et construit par le Laboratoire de M. le professeur Kœnigs.

Enfin, nous citerons l'appareil créé, quelque temps après celui dont nous venons de parler, par M. Marié, ingénieur en chef en retraite du matériel et de la traction des chemins de fer du P.-L.-M., qui lui est analogue. Il consiste, en principe, en 3 ou 4 plans inclinés juxtaposés, et de pente variable, sur lesquels glissent des masses de même poids. Le frottement de la masse sur le plan incliné équivaut ici à la tension du ressort.

Accéléromètre dit appareil à trois enregistrements (fig. 5, 6 et 7). — Cet appareil est formé d'un pendule d'inertie composé d'une masse cylindrique ou annulaire M (fig. 5) de poids P portant trois bras identiques disposés à 120° B_1. B_2, et B_3.

Le déplacement de ces bras est limité par des couples de butées P_1, P_1', P_2, P_2' et P_3, P_3'. Ces butées pénètrent dans des alvéoles creusées dans les bras de manière à ce que : 1° le déplacement de la masse soit aussi réduit que possible; 2° les points de portage soient aussi voisins que possible et que la masse porte sur les butées inférieures ou supérieures.

Trois ressorts de tension réglable supportent la masse R_1, R_2 et R_3. De petits contacteurs réglables à ressort et à pompe C_1, C_2 et C_3 logés dans l'extrémité des bras ferment un circuit lorsque la masse passe du portage contre les butées supérieures au portage contre les butées inférieures.

Par construction les dimensions de la masse sont telles que son centre de gravité G et les points de portage sur les butées sont sensiblement dans un même plan horizontal.

Supposons maintenant :

1° Que les tensions des ressorts ont les valeurs croissant en progression arithmétique :

$$(R_1) = \frac{P}{3} + \frac{P}{3g}\gamma, \qquad (R_2) = \frac{P}{3} + \frac{P}{3g}2\gamma, \qquad (R_3) = \frac{P}{3} + \frac{P}{3g}3\gamma$$

ou γ est une valeur arbitraire de l'accélération.

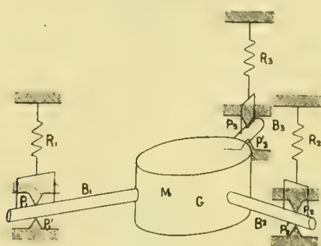


Fig. 5. — Schéma d'un appareil triple.

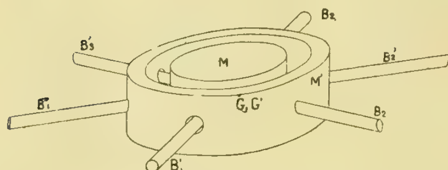


Fig. 6. — Schéma d'un appareil sextuple.

2° Que l'appareil soit placé sur un support animé d'une accélération croissante dirigée vers le haut.

Il est clair que pour des valeurs faibles de l'accélération γ' la masse restera contre les butées supérieures. Elle est sollicitée vers le bas, en effet, par une force $P + \frac{P}{g}\gamma'$ dont les composantes suivant les lignes d'action des trois ressorts sont :

$$\frac{P}{3} + \frac{P}{3g}\gamma', \qquad \frac{P}{3} + \frac{P}{3g}\gamma' \qquad \text{et} \qquad \frac{P}{3} + \frac{P}{3g}\gamma'.$$

Les signaux qu'actionnent les circuits des trois contacteurs sont inactifs et ne donnent aucun enregistrement graphique ou acoustique.

Supposons que l'accélération γ'' croissant vienne à être comprise entre γ et 2 γ. La masse est sollicitée vers le bas par une force dont les composantes sont :

$$\frac{P}{3} + \frac{P}{3g}\gamma'', \qquad \frac{P}{3} + \frac{P}{3g}\gamma'' \qquad \text{et} \qquad \frac{P}{3} + \frac{P}{3g}\gamma''.$$

La composante suivant la ligne d'action du ressort R_1 est donc supérieure à la tension de ce ressort. Il en résulte que le portage s'inverse sur le couple de butées P_1, P'_1. Le signal associé au contacteur entre en action.

Les mêmes phénomènes se produisent ensuite pour les éléments désignés par les indices 2 puis 3.

Si l'appareil est disposé de manière à ce que les signaux associés aux contacteurs inscrivent sur un cylindre tournant à vitesse uniforme, on obtient ainsi un diagramme par points des valeurs de l'accélération en fonction du temps.

Ces points sont à la vérité fort écartés puisque l'appareil ainsi décrit n'enregistre que trois valeurs de l'accélération.

Mais la disposition de l'appareil a été choisie de manière à faciliter l'enregistrement multiple avec un minimum d'organes.

On peut supposer en effet qu'au lieu d'une masse unique on ait (fig. 6) une série de masses annulaires emboîtées les unes dans les autres de manière que toutes aient le même centre de gravité et que les bras des masses intérieures traversent dans des trous celles qui les enveloppent. Les organes de

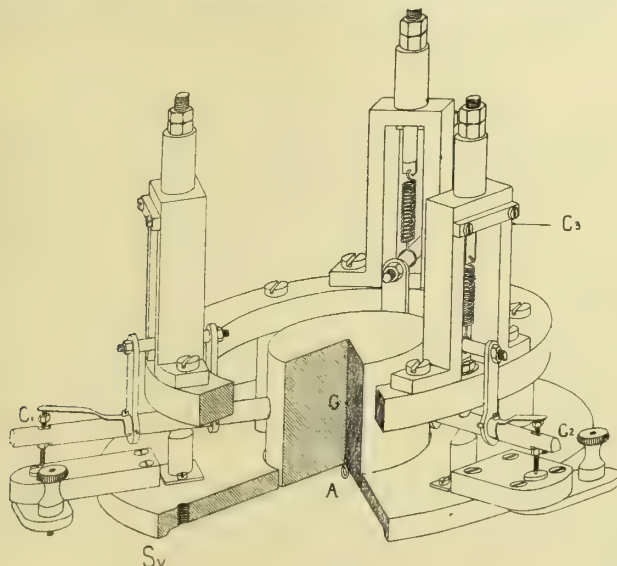


Fig. 7. — Perspective et coupe de l'appareil triple. Modèle construit au Laboratoire de M. Kœnigs.

support des masses et les contacteurs sont réunis sur un support circulaire entourant l'appareil et parfaitement accessibles.

Chaque masse constitue un appareil élémentaire à trois enregistrements. Ces divers appareils mesurent l'accélération en un même point, leur centre de gravité commun. Il en suit que l'on obtient un appareil enregistrant un diagrame par points, mais avec des points aussi rapprochés que l'on veut. Il suffit de multiplier suffisamment les masses.

Quelques observations sont nécessaires sur le fonctionnement de cet appareil.

Le système des forces d'inertie agissant sur le pendule d'inertie dépend à la fois de l'accélération en son centre de gravité et de la rotation instantanée et de sa variation en ce point, mais on démontre que le premier élément est de beaucoup prépondérant et que l'on ne doit tenir compte du second que dans les expériences de la plus haute précision.

En raison de la forme des alvéoles en cône d'angle aigu, les mouvements de la masse sont toujours des rotations autour de deux pointes sans glissements sensibles. On en peut conclure que le très faible couple qui peut dans certains cas s'ajouter à la force d'inertie de translation reste sans influence sur le fonctionnement de l'appareil.

Il en est de même des composantes de l'accélération qui ne sont pas dirigées suivant la ligne de mesure de l'appareil, et à moins qu'elles ne soient énormes, elles ne peuvent dans aucun cas faire fonctionner à tort l'appareil en obligeant une pointe à remonter avec frottement la surface du cône dans lequel elle pénètre.

Application de l'accéléromètre à la détermination continue des accélérations et à l'étude complète d'un mouvement périodique simple ou complexe. — L'accéléromètre tel que nous venons de le décrire, au lieu d'être monté avec son appareil auditif téléphonique ordinaire, comporte un relai Marcel Deprez enregistrant sur un cylindre recouvert de noir de fumée. Les déplacements de la masse d'inertie sont toujours limités par deux butées B_2 et B_1 ajustées de manière à ce que l'amplitude du mouvement ait la valeur la plus faible compatible avec le fonctionnement d'un contact électrique, qui ferme un circuit lorsque la masse d'inertie porte sur B_2 et l'ouvre lorsque au contraire elle porte sur B_1.

Dans ce circuit est intercalé un électro-aimant dont le faible déplacement du style enregistreur, trace sur le cylindre tournant une ligne présentant l'aspect de la figure 8.

Les éléments a_1 a_2, a_3 a_4, etc., correspondent aux périodes de temps pendant lesquelles le pendule est en contact avec B_2 et les éléments b_1 b_2, b_3 b_4, etc., aux périodes pendant lesquelles il est en contact avec B_1.

Supposons, 1° que l'accéléromètre soit placé sur un corps en mouvement animé d'un mouvement oscillatoire persistant, par exemple sur le pont d'un navire mis en vibration par le fonctionnement de l'hélice, 2° que les déplacements dus à ce mouvement soient sensiblement rectilignes, 3° que la masse de l'appareil soit assez faible par rapport à la masse du corps, pour que le mouvement de ce dernier ne soit pas perturbé par l'adjonction de l'appareil.

Dans ces conditions l'équation de l'équilibre relatif du pendule (voir figure 2) est :

$$\mathcal{M}\mathrm{M} + \mathcal{M}\mathrm{T} + \mathcal{M}\frac{\mathrm{M}}{g}\mathrm{J} + \mathcal{M}\mathrm{B} = 0$$

ou : $\mathcal{M}\mathrm{M}$ désigne le moment par rapport à l'axe A de la composante du poids de la masse d'inertie de poids M suivant la direction du déplacement,

moment pris avec le signe résultant d'une convention sur le sens des rotations.

$\mathcal{M}T$ désigne, dans les mêmes conditions, le moment de la traction du ressort.

$\mathcal{M}\frac{M}{g}J$ le moment de la réaction d'inertie du pendule, réaction d'inertie



Fig. 8. — Enregistrement à l'aide d'un relais *Marcel Deprez*.

égale au produit de la masse de ce pendule $\frac{M}{g}$ par l'accélération J du centre de gravité de cette masse appliquée en ce point et dirigée en sens opposé du mouvement.

$\mathcal{M}B$ le moment de la réaction des butées.

Dans cette équation les deux termes $\mathcal{M}\frac{M}{g}J$ et $\mathcal{M}B$ sont inconnus. Mais à l'instant où l'appui du pendule passe de la butée B_1, à la butée B_2 le terme $\mathcal{M}B$ s'annule et elle donne la valeur de $\mathcal{M}\frac{M}{g}J$ d'où l'on peut tirer J par une

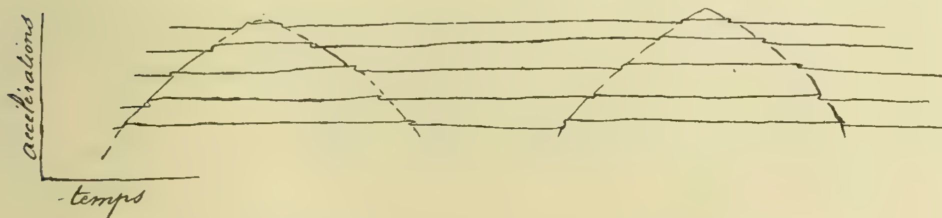


Fig. 9. — Enregistrement d'un mouvement sinusoïdal simple.

expression qui ne dépend que des dimensions constructives de l'appareil et de la tension T du ressort.

Faisons varier la tension du ressort et associons les diagrammes fournis par l'enregistreur en les repérant exactement de manière à ce que les points de ces diagrammes correspondant à un même instant à partir du commencement d'une période, soient sur une même ordonnée et en les échelonnant les uns au-dessus des autres selon la valeur des accélérations correspondant aux tensions du ressort avec lesquels ils ont été obtenus. Le diagramme d'ensemble ainsi réalisé a l'aspect de la figure 9.

Dans cette figure les ordonnées sont proportionnelles aux valeurs de l'accélération et les abscisses aux temps comptés à partir du commencement

d'une période de mouvement. Il est clair qu'en reliant par un trait continu les décrochements des lignes horizontales on obtient la courbe représentative des valeurs de l'accélération pendant une période du mouvement.

Pour soumettre cette méthode à un contrôle rigoureux, nous avons placé l'appareil sur une forte poutre métallique formée de deux fers en double T de 20 cm de hauteur d'âme et nous avons fait vibrer cette poutre en l'excitant à l'aide d'une transmission déséquilibrée montée sur elle. Le mouvement de la poutre a été enregistré soigneusement par rapport à des repères fixes;

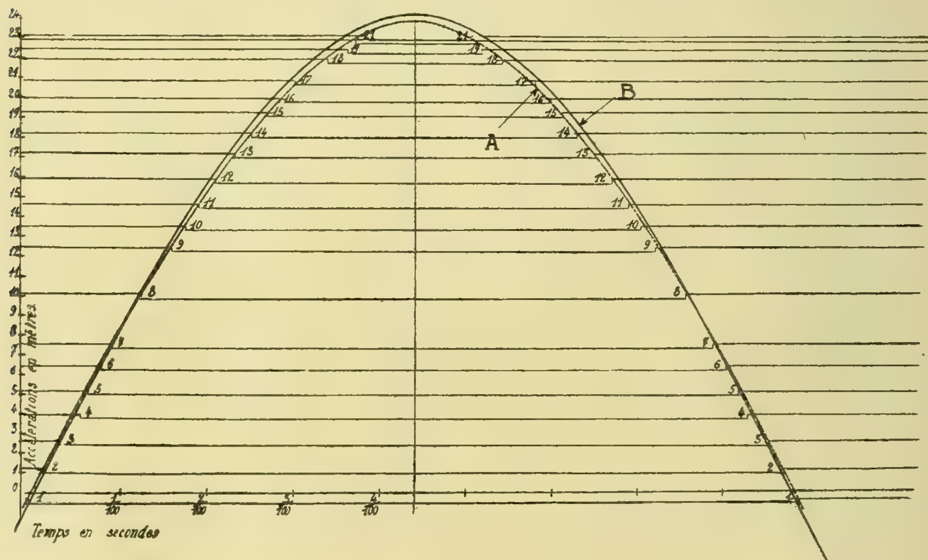


Fig. 10. — Comparaison par superposition des courbes A et B des valeurs de l'accélération : 1° mesurées à l'aide de l'accéléromètre (courbe A); 2° déduites graphiquement des déplacements du support de l'appareil (courbe B).

nous avons construit à l'aide de ces observations la courbe représentative des valeurs de l'accélération pendant ce mouvement. Nous avons rapproché de cette courbe celle obtenue avec les valeurs de l'accélération mesurées directement à l'aide de l'accéléromètre. On peut ainsi comparer la courbe des valeurs de l'accélération que l'on déduit de ces mesures, à la courbe déterminée par l'observation directe du mouvement de la poutre : voir ci-contre la figure 10 qui donne le diagramme de ces deux courbes; celle qui est tracée au pointillé donne la loi des accélérations dans le mouvement de la poutre obtenue avec l'accéléromètre; celle en trait plein donne la loi des accélérations déduite de l'observation directe. On voit que les écarts entre ces deux courbes sont très faibles de l'ordre de 2 p. 100 à peine des accélérations observées.

Ces appareils peuvent moyennant une technique convenable déterminer

les éléments nécessaires pour obtenir le système des forces d'inertie appliquées à un solide indéformable dans le cas du mouvement périodique le plus général.

Sélecteur. — Revenons un instant sur l'appareil employé avec avertisseur téléphonique. Il importe de remarquer avec quelle facilité cet accéléromètre se prête à la mesure de la valeur de l'accélération pendant une phase quelconque d'un phénomène périodique. En effet il suffit de fermer le circuit de l'écouteur seulement pendant cette phase. L'observateur peut ainsi faire sa mesure, sans être en rien troublé par ce qui se passe pendant les autres phases, que le sélecteur a éliminées.

C'est un exemple particulier de la transformation d'un appareil de mesure

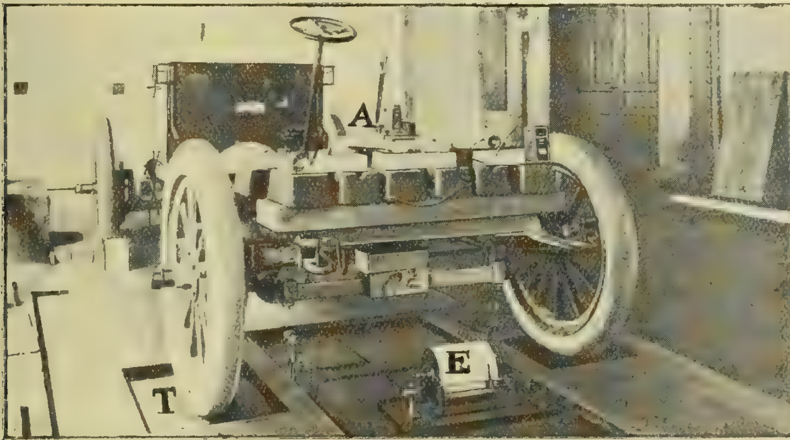


Fig. 11. — Essai d'une suspension d'automobile sur le chemin de roulement du Laboratoire des Arts et Métiers.

à maxima en un appareil de mesure à un instant donné grâce au sélecteur des observations dans le temps.

Le sélecteur est donc un appareil distributeur du courant qui doit être combiné avec l'observation ou l'étude particulière que l'on a en vue.

Par exemple, si l'accéléromètre est employé à l'étude des châssis d'automobiles sur le chemin roulant du Laboratoire d'Essais des Arts et Métiers (fig. 11), on peut avoir le désir de mesurer les accélérations en fonction de la flexion des ressorts du châssis. Le sélecteur sera alors commandé par les ressorts eux-mêmes. On peut aussi désirer repérer la valeur de l'accélération par rapport au chemin de roulement; dans ce cas ce sera le chemin de roulement qui fera la distribution du courant, c'est-à-dire office de sélecteur.

Nous verrons plus loin la description détaillée d'un sélecteur pour l'accé-

léromètre rotatif destiné à étudier les variations de l'accélération d'un volant de machine pendant la durée très petite d'une fraction de tour de la machine.

Accéléromètre de rotation. — La masse d'inertie est remplacée par un volant lourd V.

Ce volant est supporté par deux pivots à pointes A_1 et A_2. Le premier prend appui sur l'extrémité de l'arbre du moteur et le second sur une butée fixe et réglable. Un dispositif qui n'est pas représenté sur la figure fait que la pointe A_2 est constamment pressée contre la butée correspondante, alors que (fig. 12 et 13) la pointe A_1 peut prendre un léger jeu dans son logement permettant le déplacement axial de l'extrémité de l'arbre du

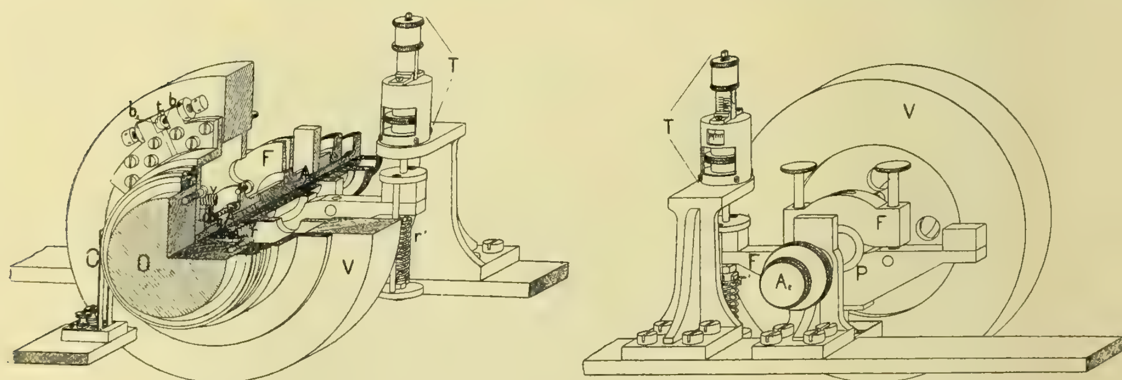


Fig. 12 et 13. — Accéléromètre de rotation. — Modèle construit au Laboratoire de M. Kœnigs.

moteur sans qu'il se produise de perturbation dans le fonctionnement de l'appareil.

Un ressort (*r*) travaillant à la torsion est lié d'une part à l'arbre du moteur et d'autre part au volant V. La liaison de ce ressort au volant est invariable, sa liaison au contraire à l'arbre est disposée de manière à pouvoir lui donner une tension réglable. A cette fin, le ressort est à son extrémité du côté du volant, solidaire d'une petite roue dentée (*d*) qui peut tourner sur la pièce de l'appareil, qui coiffe l'extrémité de l'arbre du moteur. Le mouvement de cette roue dentée est commandée par la vis sans fin V que l'on peut faire tourner de l'extérieur à l'aide d'une clef lorsque l'appareil est immobile.

On peut ainsi avant la mise en marche de l'appareil donner au ressort une tension initiale, qui sollicite le volant V dans le sens du mouvement de rotation ou en sens inverse.

Malgré cette sollicitation le volant V reste en état de repos relatif par rapport à l'arbre du moteur. Il porte en effet un toc (*t*) qui s'insère entre

deux butées réglables et très voisines b_1 et b_2 de la pièce de l'appareil solidaire de l'arbre du moteur. Le jeu du toc est réduit à quelques centièmes de millimètre.

Les butées b_1 et b_2 sont isolées de tout contact métallique et par l'intermédiaire de bagues et de balais C, elles sont insérées dans deux circuits électriques ayant un pôle commun à la masse. Si donc on introduit dans ces circuits deux signaux électriques, téléphones, signaux Marcel Deprez ou autres, l'opérateur sera averti du sens de portage du toc.

Du côté opposé à l'arbre du moteur l'axe du volant porte une petite poulie P, sur laquelle est monté un frein de Prony F minuscule, pourvu de tous ses organes de fonctionnement, vis de serrage, dynamomètre de mesure du couple T, formé d'un ressort d'indicateur, graissage convenable, etc.

A l'aide de cet organe on peut produire un couple retardateur du mouvement du volant, qui vient se retrancher ou s'ajouter à l'action du ressort (r). Soit, par exemple, M le moment de l'action d'entraînement du ressort r par rapport à l'axe de l'arbre, moment que nous supposons positif dans le sens du mouvement du moteur, m le moment retardateur dû au frein de Prony, qui sera alors négatif. Le moment d'entraînement résultant du volant, est donc M-m. Il y a équilibre entre le moment des forces d'inertie agissant sur le volant et la somme du moment M-m et du moment de la butée B_2.

Supposons maintenant le moteur en marche et dans une période du cycle telle que, l'accélération angulaire positive soit $\frac{d\omega}{dt}$. Aux forces qui agissent sur le volant de l'accéléromètre du fait du ressort et du frein de Prony, s'ajoute une action d'inertie retardatrice, c'est donc la somme,

$$I\frac{d\omega}{dt} - M + m = B_2$$

où I est le moment d'inertie axial du volant V, qui donne le moment de la réaction inconnue de la butée B_2 par rapport à l'axe de l'arbre.

Si, maintenant, nous faisons varier progressivement l'action du frein de Prony en laissant constante la tension du ressort à la valeur assignée au commencement de l'expérience, nous arriverons à un moment où cette action sera suffisante pour que le toc quitte sa butée une fois par tour et pendant un instant très court, fait dont nous serons prévenus par l'un ou l'autre des signaux électriques dont nous avons parlé.

A cet instant nous aurons la valeur de l'accélération. C'est, manifestement, la valeur maxima de l'accélération de l'arbre du moteur pendant un cycle. On reconnaît la méthode primitive de mesure de l'accélération maxima.

En donnant au ressort une tension en sens inverse, on peut mesurer de

même l'accélération minima pendant le cycle (ou accélération retardatrice maxima).

Avant d'aller plus loin précisons bien le rôle du frein de Prony minuscule introduit dans cet appareil et dont l'emploi peut paraître étrange. Il a pour but de modifier l'action du ressort (r) sur le volant, que l'on ne pourrait pas régler en marche sans un mécanisme compliqué de transformation du mouvement absolu en mouvement relatif. On modifie cette action par l'introduction d'une force antagoniste réglable sans que l'on ait à toucher les pièces tournant avec l'arbre du moteur. Parmi les nombreux dispositifs prévus, le frein de Prony nous a semblé être le plus rustique et le plus simple à construire.

Emploi du sélecteur. — L'appareil permet donc de mesurer l'accélération maxima pendant un cycle. Il peut aussi bien mesurer l'accélération maxima pendant une partie d'un cycle : il suffit pour cela de fermer les circuits des deux butées seulement pendant cette partie du cycle grâce à un distributeur indépendant actionné par le moteur.

Réduisons progressivement cette partie du cycle nous arrivons à la limite, à la mesure de l'accélération à un instant déterminé du cycle.

Sélecteur ou distributeur de courant pour l'accéléromètre rotatif. — La figure 14 donne la disposition schématique de cet appareil.

Un plateau P peut tourner autour de l'axe de l'arbre de distribution du moteur. Sur l'arbre est fixée une petite came G. Le plateau P porte un contacteur formé de plusieurs pièces et représenté schématiquement par deux ressorts (fig. 14).

Ce contracteur ferme le circuit d'une pile sur le contacteur de l'accéléromètre *ac* et sur un enregistreur *re* lorsque le ressort le plus rapproché de l'axe de l'arbre est soulevé par le passage de la came. Pendant la période de fermeture du circuit par le contacteur tournant, l'accéléromètre fonctionne et enregistre l'accélération maxima de cette période. Pendant que le contacteur est ouvert l'accéléromètre reste inactif.

On a représenté sur la figure le contacteur tournant en traits pointillés dans une autre position. On conçoit qu'en le faisant tourner ainsi autour de l'arbre A par la manœuvre du plateau P qui le porte, on peut associer la fermeture du courant par l'appareil à un instant quelconque du cycle.

Le détail de l'appareil est donné par la figure 14. On voit que la position du plateau P peut être exactement repérée par le vernier V.

Le contacteur est plus complexe qu'il ne résulte de cette description sommaire. On a voulu, en effet, pouvoir régler le temps pendant lequel il agit pour réduire ce temps au minimum compatible avec une bonne marche

de l'appareil. Dans ce but il est actionné par un petit marteau TM dont la position de repos est réglée par une butée B_1, réglable. Le contacteur agit pendant que défile devant la pointe du marteau la section cylindrique de la came dont le rayon est la distance à l'axe de cette pointe. On peut donc régler la durée de cette action par la position de la pointe du marteau déterminée par la butée B_1.

Une autre butée B_2 règle la position de la lame extérieure du ressort à

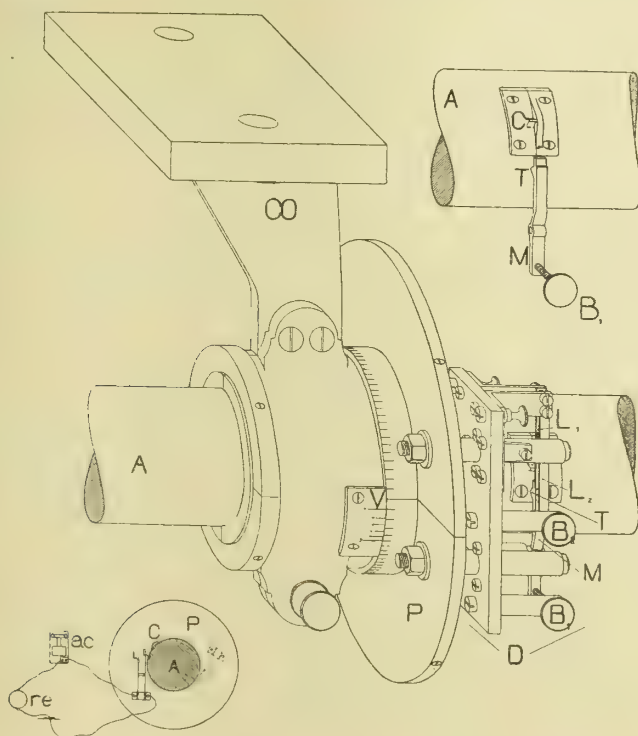


Fig. 14. — Sélecteur pour accéléromètre de rotation.

la position correspondant au réglage du marteau. La lame interne a une flexibilité telle qu'elle suive le mouvement du marteau quelle que soit son amplitude.

Il est clair que ce dispositif crée la possibilité d'une commande sur des éléments rigoureusement mesurés que l'on n'aurait pas si l'on n'employait pas le marteau.

Accéléromètre enregistreur. — Le type général d'accéléromètre tel que nous venons de le décrire deviendra enregistreur, si l'on peut commander assez rapidement la tension du ressort de manière à lui faire suivre les variations de l'accélération.

Il faudra bien entendu faire à chaque instant l'enregistrement des valeurs de ces tensions ou mieux les enregistrer sur un cylindre tournant par mouvement d'horlogerie.

On peut concevoir divers dispositifs propres à cette manœuvre rapide; par exemple en actionnant la vis de commande du ressort par un servo-moteur, par un électro-aimant, etc., etc.

Le dispositif que nous avons adopté est celui d'un cylindre avec piston ou d'une presse à air comprimé remplaçant le ressort, dans lesquels il suffira d'enregistrer la pression pour avoir automatiquement la tension du ressort. Il n'y a plus maintenant qu'à distribuer convenablement l'air dans cette presse pneumatique pour obtenir, par la seule mesure des pressions, la courbe des accélérations à une constante près bien entendu.

La figure 15 montre le dispositif de détail de cet appareil. R est un réservoir d'air comprimé, par exemple une bouteille avec détendeur. L'air convenablement détendu passe d'abord par la soupape S_2 destinée à alimenter le réservoir A en connexion avec la petite presse C et à la même pression que cette dernière, laquelle est mesurée à l'aide du manomètre M. La soupape S_1 est celle qui doit évacuer l'air du réservoir A.

Les soupapes S_1 et S_2 sont commandées par électro-aimants actionnés par courant distribué par la masse d'inertie, qui actionne S_1 ou S_2 suivant qu'elle est en portage sur la butée supérieure ou inférieure. On voit ainsi que la distribution de l'air dans la presse pneumatique est faite d'après la valeur de l'accélération. La courbe obtenue sur la feuille du manomètre sera donc celle de l'accélération à une constante de tarage près. Les courbes ainsi obtenues (fig. 16 et 17) et repérées par rapport au temps sont des courbes d'accélérations réelles. La mesure de la tension du ressort qui les produisait est la mesure de la pression en kilogrammes, à l'échelle portée sur la figure.

Nos expériences ont montré qu'en choisissant convenablement les dimensions du réservoir A on peut obtenir des variations d'accélération de 0 à 35 et 40 m : s pendant la durée d'enregistrement d'une seconde (fig. 18 et 19).

Les variations de l'accélération pendant le freinage d'un train étant de l'ordre de 2 m : s nous sommes certains de pouvoir les enregistrer avec cet appareil.

C'est en vue d'études sur le matériel des chemins de fer que nous avons exécuté ce dernier appareil, que nous comptons très prochainement utiliser.

Appareils ultra-sensibles. — Enfin il convient de mentionner les appareils ultra-sensibles sur lesquels nous avons certaines vues spéciales et dont nous espérons prochainement pouvoir commencer la mise au point.

A la suite de notre communication à la Société des Ingénieurs civils

de France en juillet 1913, M. Prache notre collègue bien connu, qui s'est spécialisé dans l'étude des fondations isolantes, nous demandait dans le courant de 1914 de lui faire construire un appareil de notre système.

M. Prache voulait un accéléromètre très sensible pour la mesure des accélérations des édifices.

Nous lui avons alors conseillé d'étudier lui-même un tel appareil, dont l'exécution un peu spéciale était, à cause de sa grande sensibilité, en dehors de ce que nous cherchions à ce moment-là.

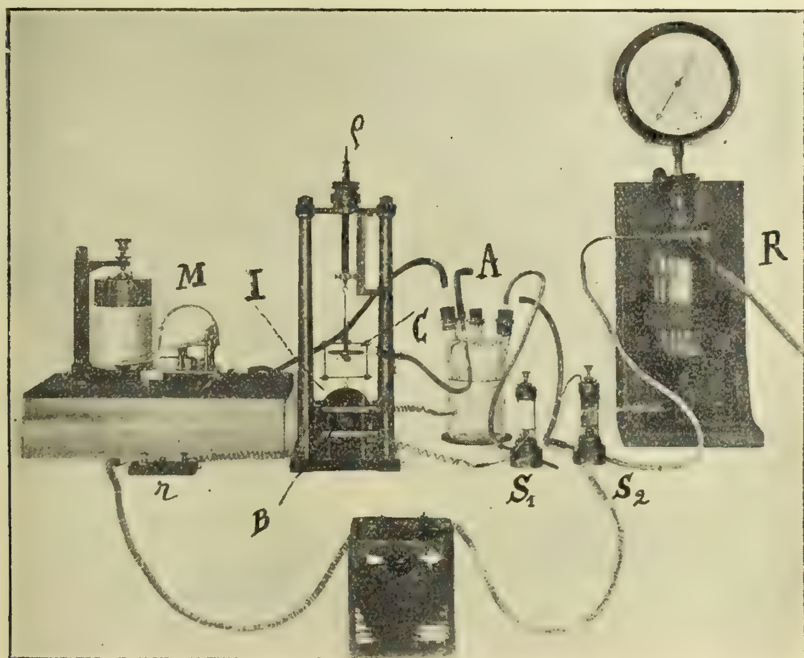


Fig. 15. — Accéléromètre enregistreur (appareil d'étude exécute au Laboratoire des Arts et Métiers et au Laboratoire de M. Kœnigs).

M, Prache a réalisé, en s'inspirant des appareils que je viens de vous décrire, un accéléromètre fort intéressant dont il aura certainement le plaisir de vous entretenir. Je ne veux donc pas anticiper ici.

Je dirai seulement qu'il y a apporté certains petits perfectionnements dignes d'éloge et qui font le plus grand honneur à sa sagacité de chercheur patient.

Il a réalisé un appareil à deux fins à ressort très doux et à contrepoids, très portatif et très ingénieusement disposé.

De notre côté nous étudions en ce moment un dispositif spécial de contacteur absolument indispensable dans le cas des appareils ultra-sensibles, c'est-à-dire pour les très petites accélérations et sur lequel je ne puis m'étendre en ce moment.

Je vous signalerai seulement à ce sujet, que de la qualité du contact dépend toute la précision dans la mesure de l'accélération.

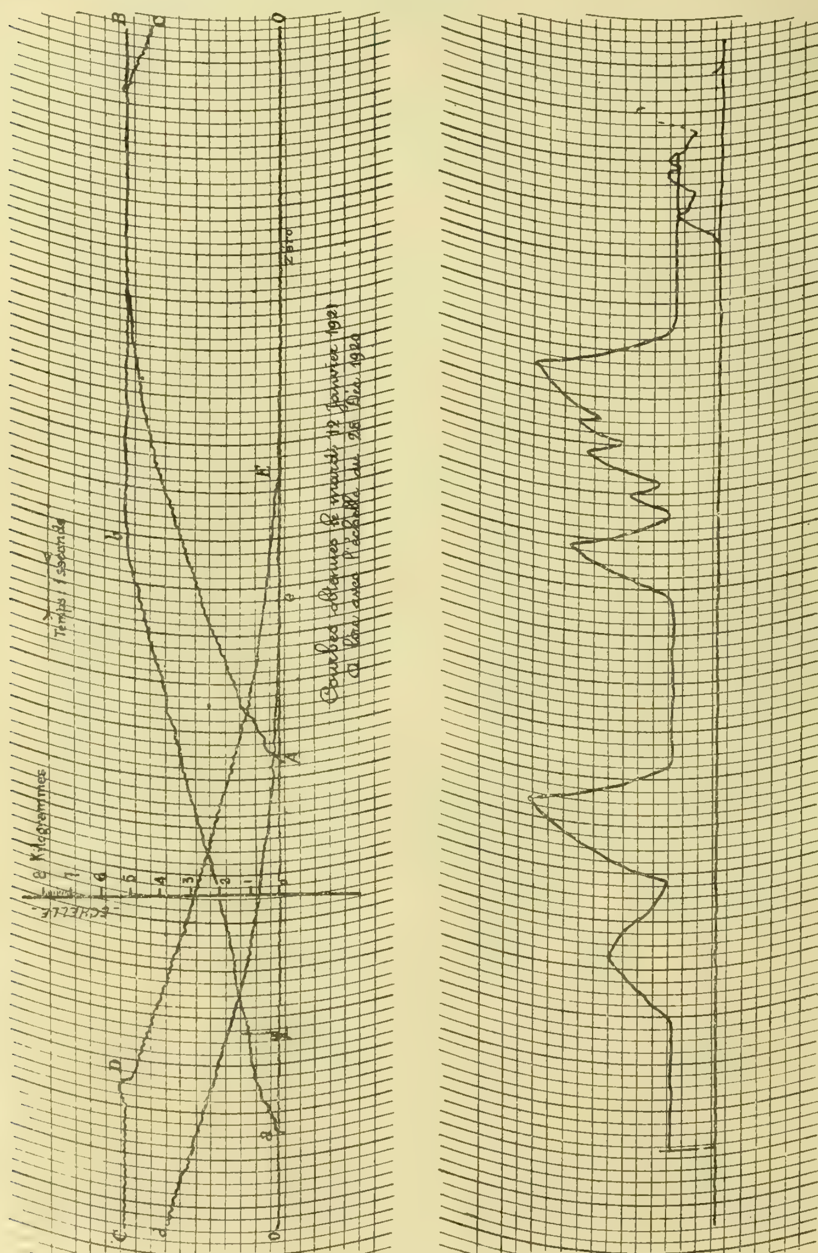


Fig. 16 et 17. — Courbes obtenues avec l'accéléromètre enregistreur.

Ordonnées : 2 divisions représentent 1 kg.
Abscisses : 4 — — 1 seconde.

Conclusion. — Voici quelques résultats pratiques de mesures obtenues avec ces divers accéléromètres et quelques renseignements sur l'évolution des formes que nous lui avons données.

Historique. — Cet appareil a tout d'abord été appliqué à l'étude des suspensions des châssis automobiles ; c'est dans le but de les étudier au

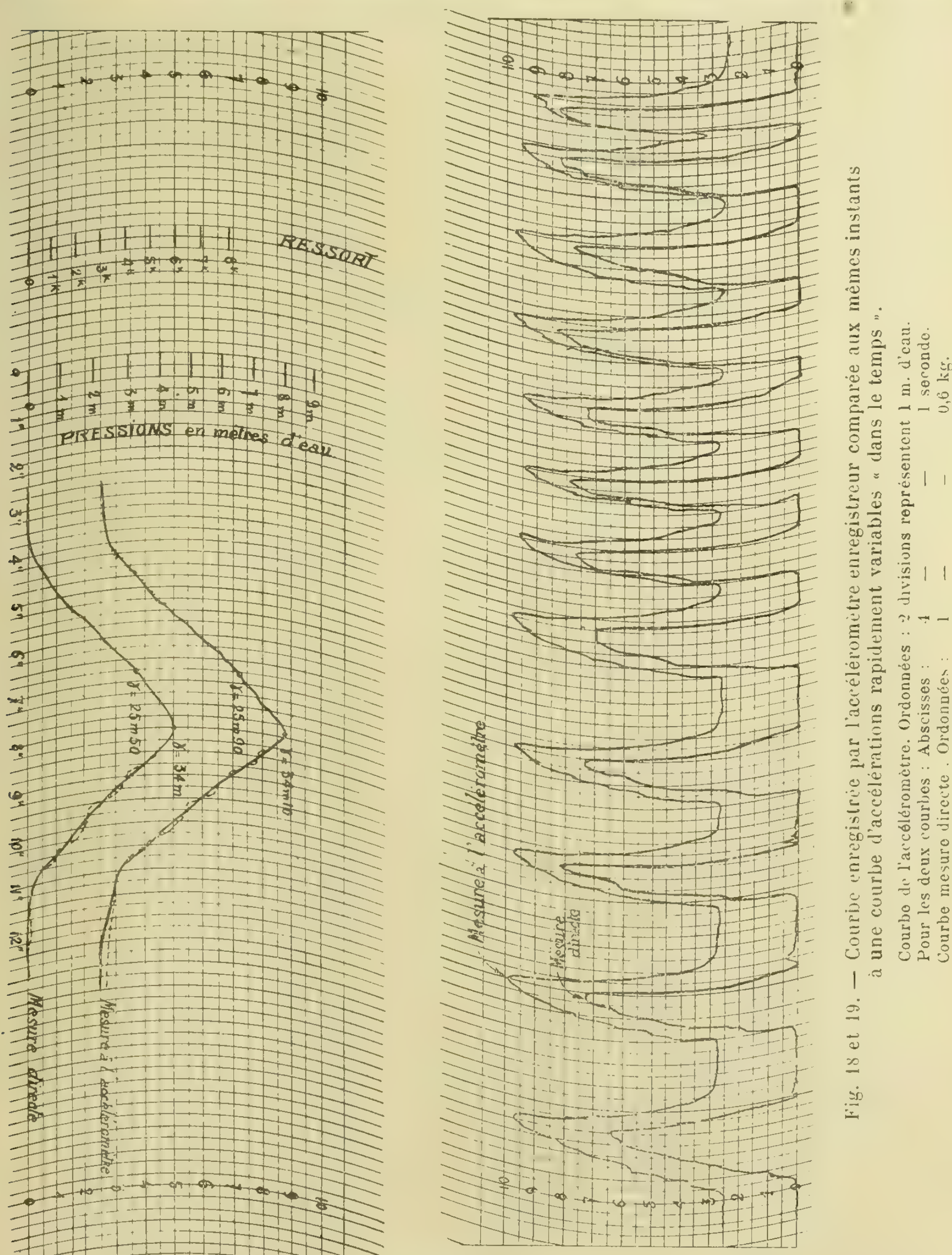


Fig. 18 et 19. — Courbe enregistrée par l'accéléromètre enregistreur comparée aux mêmes instants à une courbe d'accélérations rapidement variables « dans le temps ».

Courbe de l'accéléromètre. Ordonnées : 2 divisions représentent 1 m. d'eau.
Pour les deux courbes : Abscisses : 4 — — 1 seconde.
Courbe mesure directe . Ordonnées : 1 — — 0,6 kg.

Laboratoire d'Essais des Arts et Métiers que nous avons imaginé le premier dispositif.

Il a été à cette époque exclusivement employé comme accéléromètre à

maxima pour faire des essais comparatifs de bandages pneumatiques, caoutchouc pleins ou roues élastiques; successivement montés sur un châssis type (fig. 11) dont les roues motrices se déplaçaient « sur la plate-forme roulauté » du Laboratoire, sur laquelle on disposait des obstacles convenables (1), à profils déterminés.

L'écouteur à membrane téléphonique, alors suggéré par M. Pérot, était particulièrement propre à avertir de la modification des portages de la masse d'inertie, il nous a donné pleine satisfaction.

Depuis nous sommes parvenus à donner à l'appareil un champ d'action presque illimité en développant certaines directives indiquées dès notre communication à la Société des Ingénieurs civils de France en 1913.

Nous pouvons maintenant enregistrer la loi complète des accélérations dans tout mouvement périodique, par une inscription par points de la courbe représentative des accélérations. Cette méthode expérimentale présente une analogie complète avec la méthode de Marcel Deprez pour le relevé des diagrammes des machines à vapeur à l'aide de son appareil affranchi des irrégularités dues au lancé.

Nous avons étendu cet enregistrement à un mouvement quelconque par la création d'un appareil à effets multiples pourvu, toutefois, que la variation de l'accélération ne soit pas trop rapide.

Nous avons créé enfin un appareil que je vous ai décrit sous le nom d'*Accéléromètre enregistreur* qui nous donne un enregistrement continu par l'emploi comme ressort d'une membrane manométrique.

Nos accéléromètres ont enfin été appropriés à l'étude de l'irrégularité cyclique des machines et nous achevons le montage et les essais d'un tel appareil au Laboratoire de M. Koenigs. C'est l'accéléromètre de rotation que je vous ai décrit et qui grâce à un sélecteur convenable donne la valeur de l'accélération correspondant à un instant assigné du cycle.

Mais il ne faudrait pas croire que cette forme d'appareil soit seule en mesure de déterminer les accélérations angulaires. Pour connaître complètement le système des forces d'inertie dans le mouvement le plus général d'un solide invariable, il faut connaître non seulement les valeurs de l'accélération de son centre de gravité, mais encore les composantes de la rotation instantanée suivant trois axes passant par ce point et liés au solide et les dérivées de ces composantes par rapport au temps. Or avec l'appareil à deux masses que nous utilisons pour le cas des accélérations périodogies et pourvu que l'on utilise cet appareil suivant une technique convenable, nous sommes en possession d'un procédé qui permet de déterminer tous les éléments néces-

(1) *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils* de juillet 1913, p. 83.

saires pour connaître complètement le système des forces d'inertie ; mais il faut évidemment que l'on puisse procéder à un certain nombre d'enregistrements du diagramme de fonctionnement de l'appareil en fonction du temps.

Applications et résultats pratiques obtenus avec nos appareils. — Vous avez entendu ou lu la communication si intéressante et si documentée que M. Drosne a faite à la Société des Ingénieurs civils le 29 octobre 1920. Vous avez vu l'orientation nouvelle vers laquelle il désire faire évoluer l'étude des matériaux.

Nous avons le ferme espoir que des appareils du type de ceux que je viens de vous décrire pourront apporter une contribution à l'étude des sollicitations dynamiques dans les constructions métalliques dont M. Drosne nous a entretenu.

Comparaisons de suspensions de véhicules. — Un même châssis a été expérimenté sur le chemin de roulement du Laboratoire d'abord muni de bandages pneumatiques et de ressorts ordinaires, puis d'un bandage en caoutchouc plein avec des ressorts spéciaux.

A 16 km : h. on a obtenu 28 m : s^2 d'accélération avec les pneumatiques et 14 m : s^2 avec les pleins et tandis que les deux dispositifs deviennent équivalents pour 29 km : h., le pneumatique prend une supériorité marquée sur l'autre dispositif pour des vitesses plus grandes (1).

Nous avons également exécuté de nombreux essais de roues élastiques.

Des mesures faites sur un omnibus automobile de la C[ie] des omnibus ligne Trocadéro-gare de l'Est ont donné les résultats suivants. L'accéléromètre était placé au milieu de la voiture.

Vitesse comprise entre 18 et 22 m : h :

Sur bon pavé de bois.	$\gamma = 3{,}50$ m : s^2
Sur assez bon pavé de bois	5,10 —
Sur pavé de grès état moyen	7,00 —
— mauvais	9,70 —

Mise en route du moteur, véhicule arrêté $\gamma = 1{,}30$ à 1,40 m : s^2.

N. B. — Qu'il nous soit permis à ce point de vue de faire remarquer que la mesure avec un degré de précision déterminé de l'accélération fournit une détermination d'une précision supérieure à la vitesse.

Des mesures faites sur le plancher d'un fiacre hippomobile ont donné :

Sur macadam ordinaire à 15 km : h.	$\gamma = 2{,}10$ m : s^2
Sur pavé de grès état moyen à 12 km : h.	3,10 —

(1) *Bulletin de la Société des Ingénieurs civils* de juillet 1913, p. 85.

Mêmes mesures sur un autotaxi :

Sur pavé de bois mauvais à 27,5 k : h	$\gamma = 6{,}28$ m : s²
— de grès bon état à 27,5 k : h.	6,83 —

Sur un tramway Passy-Hôtel de Ville, l'appareil étant placé sur le plancher de voiture :

Au passage des joints de rails en mauvais état	$\gamma = 4{,}20$ m : s²
— — en voie neuve	2,00 —

Autres essais spéciaux. — Sur les vibrations des coques des bateaux parisiens, l'étude à peine amorcée.

Vibrations du pont des Saints-Pères au passage des autobus; aux stations du métropolitain Bastille, Passy, Orléans.

Essais faits sur les cellules et moteurs d'avions pendant la guerre.

En particulier sur des cellules Spad montées avec moteur Hispano-Suiza dont les vibrations du moteur étaient destructives pour les cellules.

Locomotives du chemin de fer de Loetschberg. — Les locomotives électriques qui y étaient en service comportent deux moteurs à courant alternatif accouplés par des engrenages, qui donnèrent lieu à des difficultés, qui furent heureusement résolues après une étude faite avec nos accéléromètres. Ces engrenages parfaitement exécutés, donnèrent lieu à de fréquentes ruptures. Cependant, ils avaient été correctement calculés en ce qui concerne les efforts auxquels ils semblaient devoir être soumis.

Après une série de lectures faites avec nos accéléromètres, il fut démontré que ces accidents étaient dus à des efforts exagérés provenant de valeurs importantes prises par l'accélération dans certaines circonstances de fonctionnement des locomotives.

Quand ces locomotives furent soumises aux essais, les constructeurs nous demandèrent de mettre un de nos appareils à leur disposition et voici ce que ces industriels nous ont écrit après ces essais.

« L'emploi de l'accéléromètre Boyer-Guillon et Auclair au début de ces « essais a permis de localiser le siège des trépidations; sur le châssis nous « avons pu mesurer $\gamma = 2{,}70$ à $2{,}80$ m : s² aux extrémités sur le dessus du « controller; le maximum était vers le milieu avec $\gamma = 9$ m : s² environ, « toujours sur la partie suspendue. Sur les boîtes à graisses des essieux « nous avons mesuré des accélérations verticales allant jusqu'à 80 et 85 m : s² « c'est-à-dire neuf fois celle de la pesanteur. »

La cause de l'accident ainsi déterminée, il y fut remédié très facilement en interposant des ressorts entre la jante et les bras des roues dentées. Cette modification apportée, il n'y eut plus de rupture d'engrenages.

Projets d'avenir. — Ils sont de deux sortes. 1° Nous avons projeté de faire avec l'appareil enregistreur que je vous ai décrit une étude détaillée des oscillations, chocs ou vibrations auxquels est soumis le matériel roulant des chemins de fer. M. Marié, dont les études sur cette question sont bien connues, a bien voulu nous promettre son précieux et très compétent concours.

Il ne nous reste plus qu'à faire exécuter l'appareil enregistreur, qui n'est encore qu'un appareil d'étude et de laboratoire, mais dont tous les éléments sont maintenant complètement déterminés.

2° Nous comptons reprendre prochainement une étude en vue de fixer la technique des vibrations tolérables ou nuisibles pour les constructions et les édifices. Un peu avant la guerre l'Automobile Club de France et la Société des Architectes avaient adopté notre accéléromètre pour des études *sur les vibrations des édifices*, que ces deux associations se proposaient d'entreprendre en collaboration.

Les appareils que je vous ai présentés ont pu être exécutés grâce au concours de M. Koenigs et à celui du Laboratoire des Arts et Métiers; qu'il nous soit permis de les remercier ici de l'aide précieuse qu'ils nous ont apportée.

Vous voyez que nos accéléromètres ne sont pas restés seulement des appareils d'étude et de laboratoire; mais qu'ils sont entrés dans le domaine de la pratique où ils nous semblent devoir donner des résultats capables, dans maintes circonstances, de solutionner des problèmes restés inabordables jusqu'à maintenant.

Et pour nous permettre de continuer nos recherches à leur sujet, nous venons vous demander de vouloir bien nous aider de l'autorité de la Société dont l'approbation nous sera d'un très grand soutien pour la diffusion de ces techniques un peu spéciales et un peu nouvelles que je viens de vous exposer.

Permettez-moi en terminant de vous remercier de votre si bienveillante attention et de vous prier de m'excuser, si je l'ai trop longtemps retenue sur un sujet peut-être un peu ingrat parce que encore un peu nouveau; mais nous avons encore la ferme conviction qu'il va de plus en plus se répandre dans le domaine de la pratique.

A. BOYER-GUILLON,
Ingénieur civil des Mines.

L'EMPLOI DES COMBUSTIBLES LIQUIDES DANS LES FOURS HOFFMANN

La difficulté considérable de se procurer des charbons en quantité suffisante et à un prix abordable, m'a conduit dès le mois de juillet 1919 à étudier l'emploi des combustibles liquides dans les fours Hoffmann en service dans l'industrie céramique.

Une pratique de deux ans dans l'utilisation de ce procédé m'a permis de faire quelques remarques intéressantes.

Emploi des huiles lourdes de pétrole. — *Alimentation intermittente.* — Les fours Hoffmann, qui sont à feu continu, sont alimentés habituellement en combustible par des trous traversant la voûte des fours, et par lesquels on projette le combustible à l'aide d'une petite pelle à main. Ces trous, tant qu'ils ne servent pas à la chauffe, sont bouchés par des obturateurs à joint de sable qu'on enlève au moment de l'introduction du combustible. Ils offrent donc de larges ouvertures par lesquelles l'air froid pénètre dans le four, ce qui en diminue notablement le rendement thermique.

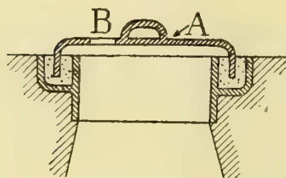


Fig. 1. — Disposition par injection intermittente au moyen d'une seringue.

La première idée que j'ai cherché à réaliser est la suivante (fig. 1) : soit A un obturateur ordinaire; il suffisait de percer un petit trou B, bouché par un simple tampon, et par lequel on injectait, à l'aide d'une petite seringue, le combustible liquide à intervalles à peu près réguliers de 15 à 20 minutes, selon la vitesse de marche du feu. Ce dispositif très simple avait l'avantage de diminuer considérablement la section des passages par lesquels pouvaient se faire les rentrées d'air nuisibles, d'autant plus que la seringue, pendant la période d'injection, obturait complètement l'ouverture B. Ce procédé me paraît devoir être intéressant par sa simplicité; malheureusement, je n'ai pas pu en poursuivre longtemps l'application en raison de l'inexpérience du personnel et du temps précieux que ces recherches faisaient perdre en tâtonnements dans une exploitation qui venait d'être à peine remise en marche après la guerre.

Alimentation automatique continue. — J'ai essayé des appareils automatiques constitués par des dispositifs à écoulement constant (fig. 2).

Un réservoir R à doubles parois contient le liquide; la paroi extérieure cylindrique obture le trou de chauffe par un joint au sable; un flotteur F plonge dans le liquide qui se déverse par un siphon *t*, muni d'un robinet de réglage *r*, dans un entonnoir *e*, en verre, prolongé par un tube formant également siphon.

Le but de la double paroi est de chauffer le réservoir R aux dépens de la chaleur rayonnée par le trou de chauffage et à seule fin de maintenir le liquide dans un état de fluidité permettant son écoulement facile par le tube *t*.

La paroi intérieure et le flotteur ont une forme aplatie d'un côté pour que le robinet *r* reste toujours sensiblement sur la verticale de l'entonnoir *e*, la face plane servant de guide. Le fonctionnement de l'appareil est le suivant : Le siphon *t* étant amorcé, on conçoit aisément que le liquide s'écoulera avec une vitesse uniforme puisque la différence des niveaux entre la grande branche et la petite branche du siphon est constante; cet écoulement est réglé par le robinet *r* d'après la marche que l'on veut obtenir pour le four. Le liquide s'accumule dans le tube *s* jusqu'à ce qu'il arrive au niveau du coude supérieur : à ce moment, tout le liquide se siphone et tombe dans le four, par quantités rigoureusement égales et à des intervalles égaux.

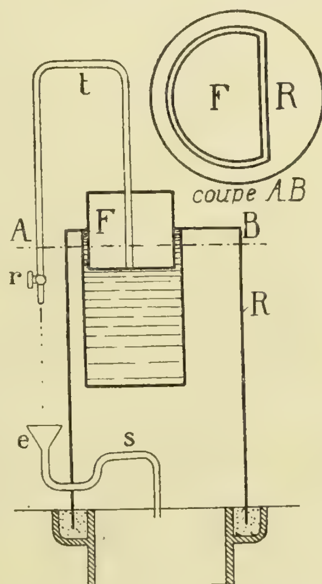


Fig. 2. — Appareil d'alimentation automatique régulière, par intermittences.

Cet appareil fonctionne automatiquement et assure une obturation complète et permanente du trou de chauffe. Pour éviter les dépenses supplémentaires d'exploitation que ces nouvelles recherches provoquaient, je n'ai malheureusement pas poussé assez longtemps mes travaux. J'ai utilisé trois appareils qui ont parfaitement fonctionné, mais le personnel n'en a pas appris l'emploi avec la rapidité désirable. L'entonnoir *e* de ces appareils était en verre pour pouvoir vérifier l'écoulement du liquide et pour mesurer, par comparaison avec un trait de repère, ou le bord de l'entonnoir, la dépression provoquée par le tirage du four.

Procédés par mélanges. — Ces deux méthodes, très simples en apparence,

n'ont pas pu être assimilées assez rapidement par le personnel habitué depuis de nombreuses années au chauffage ordinaire avec le poussier de charbon jeté à la pelle dans les trous de chauffe. J'ai donc été conduit à chercher un procédé qui ne provoquât aucune modification dans les habitudes des chauffeurs.

C'est alors que j'ai essayé de mélanger les huiles lourdes à du charbon en poussière. Les essais datent du mois d'octobre 1919; ils ont donné immédiatement d'excellents résultats. L'inconvénient de ce procédé était que le mélange restait onéreux mais il présentait néanmoins une économie sensible sur le chauffage au seul charbon; mais l'augmentation continuelle du prix des charbons me fit renoncer totalement à leur emploi, au début de novembre 1919.

Il fallait un support économique pour le combustible liquide; il fallait que ce support ne fût pas complètement inerte et qu'on le trouve facilement et en assez grande quantité.

Il était tout naturel de penser à l'emploi des escarbilles et des déchets de boîte à fumée qu'on trouve en abondance et à très bas prix dans les dépôts de locomotives.

Depuis le 19 novembre 1919 j'utilise donc ces déchets criblés après broyage.

Je les mélangeai simplement à la pelle dans la proportion de 100 d'escarbilles pour 20 d'huiles lourdes. Le résultat économique a été remarquable : presque tout le coke et le charbon pulvérulent qui sont toujours mélangés aux cendres et au mâchefer étaient complètement brûlés dans le four et, avec 1.800 kg d'escarbilles et 350 kg de mazout, j'obtins le même chauffage qu'avec 1.300 kg de charbon.

De plus, le procédé de chauffage s'est trouvé être identique à celui auquel mes chauffeurs étaient habitués et il a pu être adopté sans aucun tâtonnement.

Emploi des goudrons. — L'augmentation formidable du prix des huiles lourdes de pétrole qui est passé en 7 mois de 415 f à 835 f la tonne, a rendu ce procédé prohibitif.

Le combustible liquide qui paraissait devoir se substituer naturellement aux huiles lourdes de pétrole, était le goudron de gaz.

Depuis le 25 septembre 1920, le goudron de gaz mélangé aux escarbilles broyées et criblées est en service dans mon usine. Ce procédé me donne entière satisfaction au point de vue du prix de revient et des résultats de la cuisson. Il présente de sérieux avantages sur le précédent :

1° La combustion est moins brutale que celle du mazout; le feu est mieux tenu, et par conséquent plus régulier, partant, la couleur rouge, recherchée pour les produits cuits (briques ou tuiles) s'obtient bien plus facilement;

2° La manutention des goudrons de gaz est bien plus simple ; ils gardent leur fluidité, même à des températures assez basses ; la vidange des fûts est par conséquent très facile. Le grand inconvénient des huiles lourdes de pétrole est qu'elles sont très visqueuses même aux températures extérieures élevées qui s'observent pendant l'été en Algérie ; il fallait chauffer les fûts pour pouvoir les vider et cette opération n'était pas sans dangers ;

3° En raison même de cette fluidité, le mélange de goudron et d'escarbilles se fait dans d'excellentes conditions et peut être obtenu mécaniquement.

Il convient de noter encore que les fumées ne sont pas pénibles : même dans le local fermé qui abrite le four, elles ne sont nullement gênantes pour le personnel. On pourrait croire qu'il se forme d'abondants dépôts de suie dans les carneaux de tirage : il n'en est rien ; après une marche ininterrompue de 17 mois, j'ai fait procéder à leur ramonage et c'est à peine si on en a retiré 300 kg de suie.

Conclusion. — En somme, les procédés par mélange d'escarbilles et de combustibles liquides qui sont employés dans mon usine depuis bientôt deux ans donnent des résultats d'un intérêt certain ; je crois qu'ils peuvent rendre quelques services.

Les procédés par emploi direct des combustibles liquides tels que je les ai ébauchés ont encore besoin d'une mise au point que je serai heureux de réaliser quand les circonstances me le permettront.

L. Mascard,
directeur de la Tuilerie-Briqueterie
de Dublineau (Province d'Oran, Algérie).

NOTE DU COMITÉ DES CONSTRUCTIONS ET BEAUX-ARTS

PAR

LE LIEUTENANT-COLONEL ESPITALLIER
membre du Conseil.

Moellon aggloméré « Entur ».

Nous avons eu l'occasion de signaler que les recherches des constructeurs, en ce qui concerne les matériaux agglomérés, ont surtout pour objet des modifications de formes rendant plus ou moins faciles leurs combinaisons dans l'édification des murailles et la réalisation des points spéciaux, tels que les retours d'équerre ou les encadrements d'ouvertures.

Ces points spéciaux nécessitent souvent des éléments différents et l'on a cependant un certain intérêt à diminuer le nombre des types.

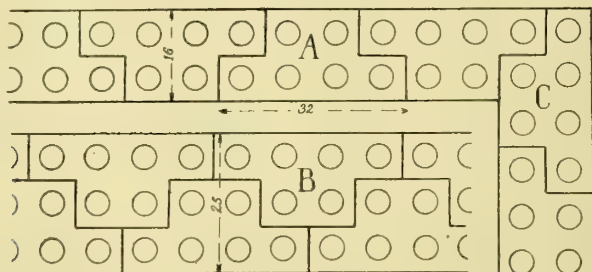


Fig. 1 et 2. — Assemblage des moellons agglomérés « Entur ».

A cet égard, le modèle des moellons « Entur » présente de grands avantages, puisqu'un seul élément suffit à tout.

L'élément, qui mesure 32 cm de longueur sur 19 cm de hauteur et 16 cm d'épaisseur, présente une section en forme de T, avec deux feuillures de 8×8 cm. Une feuillure de ce genre est tout à fait convenable pour loger la menuiserie dans un encadrement d'ouverture.

Une muraille courante, en 16 cm d'épaisseur, s'établit très simplement en plaçant alternativement les éléments en sens inverse, l'aile de l'un pénétrant dans la feuillure de l'autre. Les retours d'équerre se pratiquent également sans difficulté.

On conçoit d'ailleurs qu'il est possible de construire avec les mêmes éléments une

muraille de 25 cm d'épaisseur et la figure 2 montre comment alors les moellons s'enchevêtrent.

Ces moellons sont creux. On sait tout l'avantage qu'on y trouve, tant pour l'hygiène de l'habitation que pour la facilité de mise en œuvre. Le modèle « Entur » comporte six trous ronds verticaux, quatre sur la longue face et deux sur l'autre. Par suite de la superposition des éléments, le mode de construction donne des

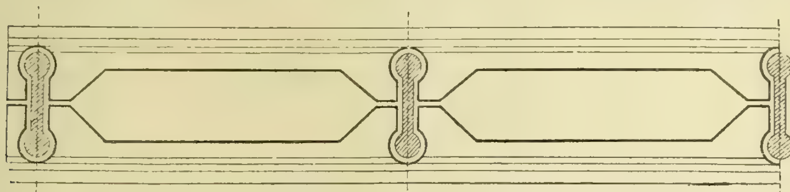


Fig. 1. — Vue de la brique Stéphane assemblée.

tubes continus sur toute la hauteur. Il est donc facile de constituer, aux points fortement chargés, de véritables piliers, en introduisant dans un ou plusieurs de ces tubes une tige de fer et en le remplissant de mortier de ciment.

La mise en œuvre se comprend d'elle-même. Les joints verticaux se font au mortier comme s'il s'agissait de briques ordinaires; dans l'étalage du liant sur les lits horizontaux, il importe de ne point laisser le mortier tomber dans les trous

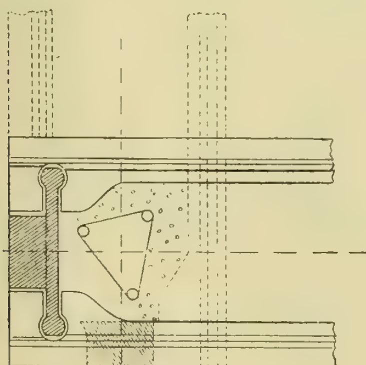


Fig. 2. — Construction en ciment armé. Briques Stéphane disposées pour un chaînage d'angle. Suppressions des coffrages.

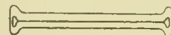


Fig. 3. — Tenon de liage en ciment armé.

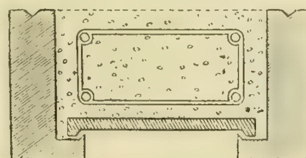


Fig. 4. — Caniveau extensible recevant l'armature des chaînages et sablières.

et, dans ce but, on se sert d'un petit outil facile à construire, comprenant autant de bouchons en bois qu'il y a de trous, ces bouchons réunis par un cadre métallique. Il n'y a qu'à poser cet instrument sur l'assise avant d'y répandre le mortier. Chaque élément ne pesant que 19 kg est aisément manié par le maçon. Il faut par mètre carré de muraille : en 25 cm d'épaisseur : 30 moellons et 10 litres de mortier. Comme main-d'œuvre au mètre carré, les matériaux apportés à pied d'œuvre, on peut compter 30 minutes de maçon et 50 minutes de manœuvre.

Le mortier servant de liant se fait à 300 kg de chaux hydraulique par mètre cube de sable. Fabriqués sur place, les moellons « Entur » reviennent à environ

0,60 f pièce, ce qui met le prix du mètre carré de muraille à 16 f pour une épaisseur de 16 cm et 24 f pour une épaisseur de 25 cm.

Des essais pratiqués au Laboratoire du Conservatoire des Arts et Métiers ont donné une résistance par centimètre carré d 107,7 kg, vides compris, et 145,6 kg pour la section nette.

Cette courte description suffit à montrer comment le même modèle de moellon satisfait à tous les besoins de la construction et la simplicité de son application.

Murs creux du système Stéphane.

On a cherché, dans ce système, à réaliser la construction des murs creux avec un nombre d'éléments aussi réduits que possible. En réalité, les deux parois qui sont indépendantes sont constituées par des panneaux tous identiques d'une épaisseur de 7,5 cm. Les bords verticaux sont seuls plus épais, de sorte que, lorsqu'ils se touchent, il reste un vide entre les parties centrales des panneaux.

Pour maintenir ceux-ci en place, on dispose, dans les joints verticaux des éléments successifs de la muraille, des crochets en fer ou des tenons en ciment armé, dont les extrémités renflées s'engagent dans les gorges que les panneaux portent sur leurs flancs.

Ce dispositif ne réalise pas un serrage des éléments successifs et ne les empêcherait pas de se séparer. Cette liaison nécessaire est obtenue en plaçant sur la muraille, quand on est arrivé à hauteur des étages, des barres de fer horizontales noyées dans du ciment et une assise d'éléments dits « caniveaux » qui couvrent le mur sur toute son épaisseur.

Quelques artifices accessoires permettent d'établir les angles en retour d'équerre et les jambages d'ouverture.

L'inventeur indique les éléments du prix de revient.

Un mètre cube de béton permet d'établir 6,24 m^2 de paroi, et le mètre carré revient à 18,64 f, matériaux, fabrication et main-d'œuvre de pose, tout compris.

NOTES DU COMITÉ DE COMMERCE

PAR

M. E. GRUNER,
membre du Conseil.

Cinq années de fonctionnement du Comptoir central d'Achats industriels pour les Régions envahies, 1916-1920 (1).

Dans toutes les parties des dix départements qu'ils ont occupés, ne fût-ce que pendant une courte durée, les Allemands ont intentionnellement et systématiquement détruit toutes les installations industrielles. Ils ont voulu ruiner à long terme la France et la mettre dans l'impossibilité de se relever avant longtemps.

L'héroïque persévérance de nos soldats guidés par des chefs éminents et secondés par des alliés dont le concours s'est affirmé avec d'autant plus de force que les visées impérialistes de l'ennemi se précisaient plus brutalement sur terre et sur mer, nous a permis de réoccuper nos régions envahies.

Du fait d'une occupation ininterrompue de quatre années pour la plus grande partie de la région industrielle, et malgré le superbe élan qui, en quelques semaines, en automne 1918, a porté nos troupes victorieuses des bords de la Marne jusqu'aux frontières, nous n'avons retrouvé que ruines et désolation dans ces régions où les industries les plus diverses contribuaient à l'envi à la prospérité de la France entière.

Dès longtemps, on savait que, si les murs des manufactures modèles de Roubaix et Tourcoing, de Caudry et de Sedan, de Lille et de Douai subsistaient encore, toutes les matières premières avaient été enlevées et dirigées sur l'Allemagne, tout le menu outillage dispersé et détruit; que, parmi les métiers et les machines, les uns avaient été démontés et envoyés précieusement en Allemagne dès qu'un concurrent les avait jugés utilisables, que les autres, d'un type plus ancien ou moins intéressant, avaient été brisés et refondus pour en faire des obus.

Longtemps on s'était bercé de l'espoir de retrouver utilisable, tout au moins le matériel qui avait été maintenu en activité pendant tout le cours de l'occupation : il suffit, au dernier moment, de quelques kilogrammes de dynamite ou de quelques obus, rationnellement placés, pour transformer en ferraille, moteurs électriques et à vapeur, machines soufflantes de hauts fourneaux ou de ventilateurs, machines motrices des laminoirs, chevalements des mines et vastes charpentes métalliques.

Le désastre a été beaucoup plus étendu que les plus pessimistes ne s'étaient

(1) Siège social, 40, rue du Colisée, Paris (8e).

permis de le craindre; mais dès longtemps les plus énergiques des industriels réfugiés loin des lignes ennemies s'étaient ingéniés à prévoir les mesures à prendre en vue d'une remise en état aussi rapide et complète que possible des industries sinistrées.

Déjà le 12 mai 1915, la Chambre de Commerce de Paris émettait l'avis que l'État devait se préoccuper de fournir aux sinistrés les matières premières, l'outillage et les machines *plus utiles qu'une indemnité en argent* pour assurer la reprise immédiate du travail. Affirmée à nouveau, à peu de jours de là (19 juin 1915), par M. Delattre, que nous retrouverons peu après, et sans répit ni repos, à la tête de l'Association centrale pour la Reprise de l'Activité industrielle dans les Régions envahies (1), et, de son organe actif, le Comptoir central d'Achats, cette idée prenait corps le 8 septembre 1915, dans une réunion nombreuse d'industriels des régions envahies, que présidait M. Charles Laurent, alors président de la Thomson, et maintenant ambassadeur à Berlin, où il défend, avec sa haute compétence industrielle et financière, les intérêts supérieurs de la France.

Toujours prête à justifier son titre et à mettre son autorité et sa compétence au service de l'industrie nationale, la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale fit, au commencement de 1916, d'actives démarches pour attirer l'attention des principaux ministres et hommes politiques sur la nécessité absolue qu'il y avait à apporter leur concours moral et financier à l'Association centrale qui venait de se constituer, et qui se proposait de travailler à la concentration d'outillage et de stocks de matériaux et matières premières, indispensables pour remplacer ceux qui avaient été enlevés ou détruits par l'envahisseur, comme aussi à la conclusion de toutes commandes de matériel spécialisé et au contrôle de leur fabrication.

Un service technique important fut, dès l'origine, constitué pour l'étude du matériel dont les commandes lui étaient confiées et pour la surveillance et la réception en usine de ce matériel.

Dans un très juste sentiment de la nécessité d'utiliser tous les concours et de réaliser la plus large décentralisation possible, le Comptoir n'hésita pas à recourir à l'appui des bureaux techniques que certaines industries organisaient elles-mêmes. C'est ainsi que les houillères constituèrent un important bureau d'études, avec service de réception en usine, qui a rendu les plus grands services.

Les appels adressés au Gouvernement ne furent entendus que tardivement; et le Parlement, sur rapport de M. le député Louis Dubois, ne se décida que le 6 août 1917 à voter un premier crédit de 250 millions de francs qui put permettre à l'Association centrale de commencer ses opérations financières, qu'elle préparait depuis plus de 18 mois, puisqu'elle s'était constituée le 22 novembre 1915.

Depuis lors, édifié sur la compétence des hommes que les industriels sinistrés avaient appelés à la tête du Conseil de l'Association centrale, le Parlement, par des lois successives, a mis à sa disposition 7 milliards 650 millions de francs, que l'Association a gérés et utilisés avec une si complète connaissance des affaires et une telle prudence qu'au cours de 1920, le Ministère des Régions libérées n'a pu mieux faire que de lui confier la liquidation des 160 stations-magasins, dont la gestion inexpérimentée, pour ne pas dire plus, avait soulevé au Parlement et dans le Pays de justes réclamations.

1) Siège social, 40, rue du Colisée, Paris (8e).

Depuis lors, par son seul personnel substitué presque entièrement à l'ancien personnel des stations-magasins, le Comptoir central d'Achats industriels a poursuivi. à raison de 15 à 20 millions par mois, la liquidation des 200 ou 250 millions de matériel et de marchandises de toute nature accumulés sur tant de point des régions dévastées.

Cette liquidation n'est qu'un détail, qu'un ultime service, à joindre à tous ceux qu'a rendus, sous l'habile et prudente direction de M. Delattre, ce vaste organisme qui a rationnellement utilisé les 7 milliards et demi de crédit dont l'État lui a confié peu à peu la gestion.

Avec le concours des services de restitution organisés à Wiesbaden, le Comptoir a pris une large part dans les efforts, souvent couronnés de succès, pour la récupération du matériel industriel enlevé aux établissements français et réinstallé dans les usines des concurrents allemands charmés d'avoir pu compléter et rajeunir leur matériel aux dépens de nos compatriotes.

Pour assurer le contrôle des opérations prévues par la loi qui ouvrit le premier crédit d'engagement de 250 millions et de toutes celles résultant des crédits successivement ouverts entre 1917 et 1920, le Ministère du Commerce constitua un *Office de Reconstitution industrielle des Départements victimes de l'Invasion*, composé par moitié de fonctionnaires des divers ministères, et par moitié d'industriels qualifiés (1) et appela à sa présidence l'éminent président de la Compagnie des chemins de fer de Paris-Lyon-Méditerranée M. Dervillé qui, dès avant 1900, avait donné les preuves de ses capacités comme président de la Chambre de Commerce de Paris et comme directeur à l'Exposition universelle (2).

Marchant en parfait accord, le Comptoir central d'Achats et l'Office de Reconstitution industrielle, qui avait pour mandat de contrôler à tout instant les opérations du Comptoir, ces deux organismes ont eu, de plus en plus, comme objectif, au fur et à mesure que l'industrie française reprenait sa liberté de fabrication par suite de la suppression des fournitures pour la guerre, de trouver le placement en France de parties de plus en plus importantes des commandes reçues des industriels. Si, au cours de 1918, et dans les premiers mois de 1919, beaucoup des commandes de matériel textile, électrique ou minier durent être placées aux États-Unis et en Angleterre, il n'en fut plus de même dès la fin de 1919 et en 1920, et comme le montre le tableau ci-joint, à la fin de 1920, près de la moitié des commandes (2.259.400.000 f sur 4.734.700.000 f) avaient été placées en France; et, dans la seconde partie de 1920 et en 1921, l'Office n'a plus donné d'autorisation pour les commandes à l'étranger que quand la preuve lui était apportée que l'ordre à passer à l'étranger ne pourrait être exécuté en France dans des conditions techniques ou économiques acceptables. Il y a d'ailleurs lieu de remarquer que l'importance des commandes passées à l'étranger tient pour beaucoup aux sommes élevées qui ont dû être consacrées aux achats de matières premières que l'étranger est seul en état de fournir (laines, cotons, combustibles, etc...) pour reconstitution des stocks enlevés par l'ennemi dans toutes les manufactures du Nord.

(1) MM. Gruner, pour les mines et la métallurgie; Carmichaël, pour les industries textiles; Toulemond, pour les industries lainières; Courtin, pour la brasserie; Beghin, pour les sucreries; Cordier, pour les industries électriques.

(2) Les directeurs de cet Office ont été d'abord le lieutenant-colonel Taffanel, Ingénieur en chef des Mines et, après sa démobilisation, le lieutenant-colonel Prangey, Ingénieur en chef des Poudres et Salpêtres.

Par l'établissement successif, dans les régions dévastées, de 24 magasins, occupant plus de 345.000 m² de surface, et approvisionnés pour plus de 350 millions de francs de marchandises, le Comptoir s'est attaché, non plus seulement à mettre en commande et à faire exécuter les types de machines et de métiers spéciaux dont les spécifications précises lui étaient apportées par les industriels sinistrés, mais aussi à se mettre en mesure de satisfaire, au jour le jour, aux besoins les plus variés des industriels occupés à la reconstitution de leurs installations (matériel mobile commun à toutes les industries, matériaux de toute nature, tels que chaux, ciment, briques, bois de charpente, etc...).

En centralisant les commandes et en remplissant, pour certaines catégories d'entre elles, le rôle d'acheteur unique, le Comptoir a exercé sur les prix une action modératrice.

Au moment de la grande hausse, le Comptoir a puissamment réagi contre les exigences abusives de certains fournisseurs. Il a, dans bien des cas, passé les commandes à des prix variant d'après des barèmes basés sur les salaires et les matières premières.

Sur un total d'opérations d'environ 400 millions de francs de matériaux et articles courants, la comparaison des prix obtenus par le Comptoir avec ceux du commerce aux mêmes époques fait ressortir une différence de 11,5 p. 100.

Sur 6 milliards de commandes passées depuis l'origine, il apparaît donc que le montant des économies que le Comptoir a permis aux industriels sinistrés de réaliser est de l'ordre de grandeur de 10 p. 100 soit de 500 à 600 millions de francs.

Il est donc juste de constater que le Comptoir est resté fidèle à la double formule qui lui a été assignée dès l'origine et que l'Office a tenu à lui rappeler en maintes circonstances : assurer la reconstitution des régions sinistrées par l'industrie française elle-même et aux conditions d'économie et de rapidité les meilleures, telles que peuvent les obtenir des commerçants et des industriels expérimentés associés dans une œuvre commune d'intérêt général.

Par sa participation à l'organisation première de l'Association centrale pour la reprise de l'activité industrielle dont elle est heureuse de constater les services éminents rendus à la France, la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale a répondu une fois de plus au rôle que lui assignaient ses fondateurs. Elle a pris ainsi une part effective aux efforts de reconstitution de nos industries. Les résultats obtenus prouvent que notre Société avait été bien inspirée en apportant le concours de son autorité aux hommes qui se proposaient d'assumer la charge de cette reconstitution, et apportaient à cette œuvre la garantie d'une compétence complète et d'une ardeur au travail que les plus dures épreuves, loin d'abattre, ont renforcée de mois en mois.

Utilisation des crédits mis par le Parlement à la disposition du Comptoir central d'Achats industriels pour les Régions envahies.

Années.	Programmes approuvés. (francs)	Commandes passées. (francs)	Payements effectués. (francs)
1917	24.220.152		3.761.927
1918	273.624.530	147.371.539	8.856.710
1919	2.704.336.861	2.145.410.682	1.067.404.133
1920	5.865.018.459	4.734.673.224	3.314.033.978

Répartition par pays des commandes du Comptoir central d'Achats à la fin de 1920.

France	(francs)	2.259.404.817
Angleterre	(livres)	1.285.399
États-Unis	(dollars)	5.159.220
Belgique	(francs belges)	86.837.679
Suisse	(francs suisses)	9.781.939
Luxembourg	(francs luxembourgeois)	10.919.180
Allemagne	(marks)	401.687.639
	(francs français)	15.700.552
Tchéco-Slovaquie	(couronnes)	44.058.880
Suède	(couronnes)	50.223
Danemark	(couronnes)	35.788
Autriche	(couronnes)	62.000
Italie	(lires)	87.191

« Lyon industriel » Société coopérative de Mécaniciens et Industriels français (1).

Faire un grand effort d'expansion commerciale est, dans ces dernières années, la constante préoccupation des industriels de la région lyonnaise.

L'importance de plus en plus considérable que prennent les deux foires qui groupent, l'une au printemps, l'autre à l'automne, les producteurs industriels de tout le Sud-Est, montre que de tels efforts ne sont pas renouvelés en vain.

Au moment où la France a un tel besoin d'augmenter le rayonnement de ses industries dont l'importance de la production dépasse de beaucoup la capacité d'absorption du pays, tout ce qui peut faciliter les relations entre producteurs et consommateurs est à encourager.

Dans cet ordre d'idées un groupe de mécaniciens et d'industriels de la région lyonnaise s'est constitué en association coopérative destinée à poursuivre « le « développement de la production de chaque adhérent par la création de débouchés « nouveaux, la répartition rationnelle des commandes, l'action constante d'un « bureau d'études et de perfectionnement, la mise en œuvre de moyens financiers et « de crédit groupés ou créés par la coopération. »

« Cette société coopérative, vise également l'achat en commun des matières « premières, la vente en commun de tout ou partie des produits manufacturés. »

Par la création à Lyon d'un important centre d'exposition et de vente des produits de ses adhérents, l'association réalise un des procédés qui a le mieux réussi aux industriels allemands qui sont arrivés à faire connaître dans toutes les parties du monde leurs produits exposés dans des magasins établis dans les grands centres de consommation.

Grâce à une rapide et sûre exécution des commandes recueillies par des ingénieurs qui, sans cesse en route, savaient rapidement comprendre les besoins immédiats dans les pays neufs, ces représentants de l'industrie allemande sont, dans les pays nouvellement ouverts à la vie industrielle, devenus les collaborateurs appréciés, presque indispensables, des usines et des manufactures naissantes.

Si la société coopérative créée à Lyon sait s'entourer de collaborateurs qui possèdent à la fois la compétence technique, la souplesse commerciale et le tact qui

(1) Siège social et hall d'exposition 14 *bis*, rue Victor-Hugo, Lyon.

se fait agréer sans paraître s'imposer, elle pourra rendre des services éminents à l'industrie lyonnaise en mal de débouchés.

N'a-t-elle pas des visées trop vastes et peut-être imprudentes quand elle ajoute à son programme, « toutes négociations relatives à des fonds de commerce et à des « usines, toutes opérations financières et de banque, etc... »? Nous aimons à espérer que nos craintes seront vaines.

Prudemment limitée dans ses visées, sagement gérée, la Société coopérative « Lyon Industriel » pourra rendre de réels services pour le développement de relations lointaines, ébauchées au cours des foires semestrielles. Mais pour que ce résultat puisse être obtenu, il semble indispensable que l'action exercée à Lyon même, grâce au Hall d'Exposition de la rue Victor-Hugo (1), soit poursuivie par des voyageurs ingénieurs parlant couramment les langues des pays qu'ils sont appelés à parcourir et y repassant assez souvent pour devenir de vrais collaborateurs bénévoles de ceux qu'ils visitent.

(1) Il couvre 500 m².

NOTE DU COMITÉ DE COMMERCE

PAR

M. GEORGES RISLER,
membre du Conseil.

Les chambres de métiers.

La question de l'apprentissage et celle de l'orientation professionnelle sont tout particulièrement à l'ordre du jour.

Il est urgent de les résoudre au plus vite car il est pénible de constater que, dans notre pays, où les corporations furent si puissantes durant sept siècles environ, le nombre des bons ouvriers décroît rapidement et que, certains même, sabotent avec plus de plaisir qu'ils ne produisent. L'idéal paraît être pour quelques-uns, de travailler toujours moins pour gagner toujours davantage et l'on peut lire dans certaines feuilles « que le travailleur parce qu'ennemi du patron est ennemi du travail ».

L'opinion et les Pouvoirs publics comprennent maintenant l'intérêt essentiel de cette question.

La Section d'Hygiène urbaine et rurale et de Prévoyance sociale du Musée social a discuté récemment un rapport extrêmement remarquable de M. Douane, président de la Chambre syndicale des Entrepreneurs de Maçonnerie, sur l'apprentissage. Des conférences sont données sur tous les points du territoire grâce à l'initiative des chambres de commerce et des chambres de métiers; « les Compagnons du Devoir » réunis en congrès, à Paris, en septembre dernier, n'ont pas craint de proclamer qu'ils considéraient le travail comme « une fin » et « qu'une fois leur tâche terminée, ils se considéraient, avant d'avoir reçu le moindre salaire, comme déjà payés par la satisfaction d'avoir créé quelque chose de beau, d'utile et de durable ».

Il y a quelques semaines, le 11e Congrès de l'Apprentissage se tenait à Lyon, la ville laborieuse par excellence; les plus importantes questions y furent traitées par des hommes compétents et éclairés appartenant à diverses nations.

De son côté, le Parlement a voté en 1919, la loi Astier, qui organise l'enseignement technique et particulièrement les cours complémentaires des apprentis. Pour en faciliter l'application, M. Millerand, lorsqu'il fut appelé à la présidence du Conseil, créa le Sous-Secrétariat de l'Enseignement technique qui s'est employé à multiplier le nombre des comités départementaux d'enseignement technique et d'offices d'orientation professionnelle.

Ces derniers sont chargés de centraliser toutes les indications concernant la

nature physique et les capacités intellectuelles de chaque enfant et de fournir aux intéressés les renseignements les plus précis sur les avantages et les inconvénients des diverses professions ainsi que sur les demandes de travail des diverses catégories.

A l'heure actuelle, il est question de déposer un projet de loi relatif à la création de chambres de métiers.

Nous ne voulons pas en discuter l'opportunité, mais nous croyons intéressant d'appeler l'attention sur le fonctionnement des quelques chambres déjà existantes, celles d'Alsace et de Lorraine, de la Gironde, de l'Anjou et de la Haute-Vienne.

La *Chambre de Métiers d'Alsace et de Lorraine*, fondée en 1900, et présidée à l'heure actuelle par M. Schleiffer, a notamment pour buts : la réglementation de l'apprentissage; la surveillance et l'application des prescriptions y relatives; la transmission aux autorités des vœux et renseignements relatifs aux métiers; la formation des commissions chargées des examens de compagnons et de maîtres. La Chambre peut, en outre, fonder ou subventionner des écoles, organiser des expositions, créer des services de renseignements, participer à la création de banques populaires, de caisses de prêts, de coopératives de production, etc.

Vis-à-vis des apprentis, elle donne l'autorisation de recevoir en pension et de diriger les futurs ouvriers; elle participe à la conclusion des contrats, veille à leur observation par les parties et fixe la durée de l'apprentissage. Vis-à-vis des compagnons et des maîtres, elle établit les règlements concernant les examens et réprime les abus qui peuvent se produire grâce au brevet de maître et à l'usage qui peut en être fait.

La *Chambre de Métiers de la Gironde et du Sud-Est*, sous la présidence de M. Paul Carde et grâce aux efforts de son dévoué directeur M. Mauvezin, a pris en peu de temps une importance considérable et rendu déjà des services appréciables dans la région. Contrairement à ce qui se passe en Alsace et en Lorraine, elle s'adresse non seulement aux artisans mais aussi aux ouvriers de la grande industrie et recrute des membres parmi les patrons et les ouvriers.

Sous ses auspices, de nombreuses conférences ont été données, des cours et des concours ont été organisés; d'intéressants tracts ont été publiés et répandus, non seulement dans la région, mais dans la France entière, tel celui d'avril 1921 intitulé : *Conseils aux enfants*. Cet opuscule devrait être entre les mains de tous les jeunes Français.

Il nous faut signaler l'excellent ouvrage de M. Mauvezin : *La Rose des Métiers*, qui donne les renseignements les plus complets sur les aptitudes physiques, intellectuelles et morales adéquates aux divers métiers et ceux relatifs aux défauts pouvant entraver ou gêner leur bon exercice. Cet ouvrage sera particulièrement précieux aux parents, aux éducateurs, aux patrons et à tous ceux qui s'intéressent à l'avenir des enfants, c'est-à-dire à l'avenir de la France.

Nous ne saurions trop recommander la lecture de l'excellent petit recueil que constitue le *Bulletin de la Chambre de Métiers de la Gironde et du Sud-Ouest* (91, rue Paulin, Bordeaux).

COMPTES RENDUS

DES SÉANCES DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT

CONSEIL D'ADMINISTRATION

SÉANCE PUBLIQUE

DU 29 OCTOBRE 1921

Présidence de M. L. Baclé, *président.*

La séance est ouverte à 17 h.

Le procès-verbal de la séance du 11 juin 1921 est adopté.

Sont présentés pour devenir membres de la Société et admis séance tenante :

M. Breguet (Louis) (O. *), ingénieur, représentant la Société anonyme des Ateliers d'aviation Louis Breguet, 115, rue de la Pompe, Paris (16e), présenté par M. Daniel Berthelot;

M. Parfait (Émile) (✲, ✲), Ingénieur des Arts et Métiers, 10, rue Poussin, Paris (16e), présenté par M. Louis Breguet;

M. Prud'hon (Georges), Ingénieur des Arts et Métiers, 43, rue de la Vanne, Montrouge (Seine), présenté par M. A. Nessi ;

M. Herdner (Henri-Albert), Ingénieur en chef honoraire du Matériel et de la Traction des Chemins de fer du Midi, 25, rue de la Faisanderie, Paris (16e), présenté par le Colonel Renard;

M. Brylinski (Émile), président du Comité électrotechnique français, 5, avenue Teissonnière, Asnières (Seine), présenté par M. Legouëz (membre à vie);

M. Massip (Georges-Alexandre), ancien Ingénieur militaire des Poudres, ingénieur-constructeur d'appareils de contrôle et accessoires pour la vapeur, 58, rue Danton, Levallois-Perret (Seine), présenté par M. Petitalot et l'Office central de Chauffe rationnelle;

M. Mahieu (Paul), fabricant de spécialités industrielles et fondeur d'aluminium, 41 et 43, rue d'Hautpoul, Paris (19e), présenté par M. Lemaire;

La Société anonyme des Hauts Fourneaux, Forges et Aciéries du Saut-du-Tarn, 23, rue du Rocher, Paris (8e), présentée par M. Léon de Nervo et M. O. Beigbeder;

M. Drevet (B.-M.), ingénieur-constructeur, carburateurs C. M. D., 3, boulevard Pommerol, Lyon-Villeurbanne (Rhône), présenté par M. Pierre Lambert et M. Marcel Moulin;

M. Germain (Fernand), administrateur-délégué de la Société du Duralumin, 16, rue de Sèvres (7e), présenté par M. Baclé.

M. Baclé, *président*. — Au moment où nous reprenons nos travaux, j'ai le douloureux devoir de vous informer des deuils qui nous ont frappés pendant la période des vacances.

Depuis notre dernière réunion, le Conseil a été éprouvé, en effet, par la perte de trois de ses membres : M. le vice-président Carpentier, membre du Comité des Arts économiques; M. Bérard, du Comité des Arts chimiques, et M. Brocq, membre du Comité des Arts mécaniques.

M. **Jules Carpentier**, qui a succombé le 29 juin dernier, à la suite d'un accident d'automobile, s'était acquis, en France et à l'étranger, dans la construction des appareils de précision pour les applications de l'électricité, une autorité incontestée qui faisait de lui l'un des représentants les plus autorisés, et nous pourrions même dire sans exagération, l'une des gloires de l'industrie française.

Au cours de cette période presque cinquantenaire qui s'est écoulée depuis qu'il avait pris possession des ateliers Ruhmkorff, il a réussi en effet à créer tous les types d'appareils de mesure de haute précision dont l'industrie électrique à ses débuts avait le plus grand besoin, et, dans ses ateliers, organisés d'après les méthodes nouvelles de division du travail, dont il avait su l'un des premiers pressentir tout l'intérêt, il fabriquait en série, dans les meilleures conditions économiques, des voltmètres, des ampèremètres, des wattmètres, des électrodynamètres, des compteurs électriques, etc., ingénieusement combinés dont l'exécution ne laissait prise à aucune critique, car le fini de leur construction s'alliait à la précision des mesures, et, ce faisant, il a certainement contribué pour une large part au développement merveilleux qu'a pris l'industrie électrique pendant ces cinquante dernières années.

Il ne m'appartient pas de rappeler ici les nombreuses inventions qu'il sut réaliser pratiquement dans des appareils qui étaient toujours des merveilles d'élégance et d'ingéniosité. Citons seulement le galvanomètre apériodique de d'Arsonval, et surtout le télégraphe multiple imprimeur Baudot qui révolu-

tionna la télégraphie en permettant l'envoi simultané de plusieurs dépêches par le même fil.

En photographie, M. Carpentier créa plusieurs appareils des plus intéressants, notamment la photo-jumelle à répétition, le procédé d'impression photographique en trois couleurs; pendant la guerre, il créa et construisit de nombreux appareils qui rendirent les plus grands services, comme les périscopes de nos sous-marins qui se montrèrent aussi remarquables par l'exiguïté de leurs dimensions que par la netteté des images obtenues.

M. Jules Carpentier, qui possédait l'habileté professionnelle en même temps que les hautes connaissances scientifiques, apportait ainsi, par son exemple personnel, le meilleur témoignage de la fécondité des résultats que l'industrie peut obtenir en s'éclairant de la science; il réalisait ainsi l'objectif de notre Société, et, à ce titre, il avait sa place marquée dans notre Conseil où il était entré en 1887, il y a trente-quatre ans déjà; et cette année, en dépit de ses nombreuses occupations, il avait bien voulu accepter les fonctions de vice-président, faisant ainsi à notre Bureau, et surtout à son président, un honneur dont je ne saurais trop le remercier.

Les honneurs étaient venus à lui sans qu'il les ait cherchés; il était commandeur de la Légion d'honneur, membre de l'Académie des Sciences, ancien président de la Société des Ingénieurs civils de France; mais, ni la gloire, ni les honneurs n'éveillaient en lui aucun orgueil, et ce que nous devons rappeler surtout, comme il le demanderait sans doute lui-même s'il était encore au milieu de nous, c'est qu'il était entouré de la profonde sympathie, de l'estime et de l'affection de chacun de nous, et, en exprimant à sa famille en deuil la part bien vive que nous prenons à son chagrin, nous pouvons dire que nous sommes fiers de l'avoir compté dans nos rangs.

Nous pouvons en outre déclarer sans hésitation que les éminents services rendus par lui au cours de sa laborieuse et féconde carrière, lui assureront certainement une place à part dans l'histoire de l'industrie électrique.

M. **Paul Bérard**, ancien vice-président de notre Société, membre du Comité des Arts chimiques, dont il faisait partie depuis l'année 1877, était le doyen de ce Comité aux travaux duquel il a toujours apporté la collaboration la plus active.

Il était le fils du professeur de chimie, devenu plus tard doyen de la Faculté de Médecine de Montpellier, où il est né le 25 novembre 1836.

Après de brillantes études classiques, il consacra la plus grande partie de sa carrière à l'étude et à l'enseignement de la chimie, d'abord comme chef des travaux pratiques à la Faculté des Sciences de Paris en 1862, puis comme préparateur de Pasteur, de Balard et de Jean-Baptiste Dumas.

Il quitta ces fonctions en 1872 pour occuper celles de secrétaire du Comité consultatif des Arts et Manufactures, présidé alors par Chevreul; il fut nommé peu de temps après professeur à l'École Turgot et à l'École supérieure de Commerce.

Au Comité consultatif des Arts et Manufactures, dont il était à sa mort le doyen d'âge, il apporta une collaboration particulièrement active et féconde; aux deux écoles dont il occupa les chaires de chimie pendant vingt-cinq ans, il sut se faire apprécier de ses élèves qui proclamaient à l'envi la sûreté de ses méthodes, la clarté de ses exposés, et surtout la chaleur de cœur et le dévouement qu'il apportait dans son enseignement. Il a contribué ainsi à orienter un grand nombre de jeunes gens vers l'industrie chimique en leur faisant aimer, dès le début, cette science de la chimie, dont l'enseignement était alors tout à fait insuffisant.

Ce même esprit de dévouement l'amena à s'occuper de questions d'intérêt général et à se consacrer à la Société de Protection des Apprentis dont il fut l'un des fondateurs, de concert avec son parent et ami Jean-Baptiste Dumas; il s'en occupa activement, d'abord comme secrétaire, puis comme président jusqu'en 1920.

Il fut chargé à diverses reprises de missions officielles et désigné comme membre des jurys dans les grandes expositions; il fut promu officier de la Légion d'honneur en 1889.

Nommé membre de notre Conseil en 1887, il apporta aux travaux du Comité des Arts chimiques une collaboration active et publia dans notre *Bulletin* de nombreux articles particulièrement appréciés.

Il était aimé et estimé de tous ses collègues, qui appréciaient hautement la courtoisie de ses relations, l'étendue de ses connaissances, la sûreté de son jugement, et nous pouvons dire qu'il emporte avec lui les regrets unanimes de tous ceux qui l'ont connu.

Nous avons eu le regret de perdre aussi M. **François Brocq**, membre du Conseil de notre Société, qui faisait partie du Comité des Arts mécaniques depuis 1912.

Brocq a été enlevé à sa famille et à ses amis à l'âge de soixante-cinq ans.

Sorti de l'École centrale des Arts et Manufactures en 1881, il a, tout d'abord, été ingénieur dans l'Entreprise de Travaux publics Conrad Zschokke. Puis, en 1882, il devint l'associé de la maison Michel et le collaborateur de M. Frager pour la construction des compteurs à eau. Bientôt cette maison s'occupa de la construction des compteurs électriques qui reçurent dans la suite de nombreux perfectionnements sous l'impulsion de Brocq.

Pendant la dernière guerre, Brocq, qui, en raison de son âge, n'était pas appelé sous les armes, inventa un appareil correcteur pour le tir contre les avions; grâce à cet appareil, plus de 300 avions ennemis ont été abattus.

Plus récemment Brocq a inventé un appareil de télépointage pour la concentration du tir des cuirassés. Cet appareil, mis au point, a été accepté par le Ministère de la Marine.

En récompense de ses travaux, Brocq a été nommé chevalier de la Légion d'honneur au titre militaire, et commandeur de l'Ordre anglais du British Empire.

Brocq avait, l'un des premiers, su prévoir l'avenir de l'air liquide et il avait encouragé les travaux de M. Georges Claude, contribuant ainsi pour une large part au succès qui les a couronnés, ainsi que M. G. Claude, avec une modestie qui l'honore, a tenu à le déclarer lui-même sur la tombe de notre regretté collègue.

Ses qualités de cœur et d'esprit ont été appréciées par nos collègues qui conserveront toujours son souvenir.

Je suis certain d'être votre interprète à tous en exprimant aux familles de nos regrettés collègues, la part que nous prenons à leur deuil.

Nous venons de perdre aussi un de nos membres les plus actifs et les plus dévoués, M. de **Préaudeau**, Inspecteur général des Ponts et Chaussées en retraite, décédé subitement, le 27 octobre.

M. de Préaudeau avait été vice-président du Conseil général des Ponts et Chaussées. Il était grand officier de la Légion d'honneur. M. de Préaudeau était assidu à nos réunions et l'un de nos auditeurs dont nous regrettons tout particulièrement l'absence. C'est un deuil et une perte pour notre Société. Nous adressons à la famille de notre collègue nos respectueuses condoléances.

M. Baclé, *président*. — J'ai le plaisir de vous faire savoir que trois des membres de notre Conseil viennent d'être promus officiers de la Légion d'honneur :

M. Jean Rey, membre de notre Comité des Arts économiques, président de la Société française des Electriciens;

M. Alby, notre dévoué trésorier, membre de notre Commission des Fonds et de notre Bureau, ancien ingénieur des Ponts et Chaussées ;

M. Georges Hersent, membre de notre Comité des Constructions et Beaux-Arts, Ingénieur des Arts et Manufactures, le grand constructeur et entrepreneur de travaux publics si connu et apprécié en France et à l'étranger.

Au nom de notre Société, nous adressons à nos trois collègues nos très vives félicitations.

M. Baclé, *président*. — Le 25 juillet dernier, a été célébrée à Louvain la cérémonie de la pose de la première pierre de la nouvelle Bibliothèque de la célèbre Université, honteusement brûlée, comme vous vous le rappelez, par les armées allemandes au cours de l'invasion de la Belgique. A cette occasion, notre Société, doyenne des sociétes techniques françaises, a tenu à joindre sa protestation indignée à toutes celles qu'a soulevées dans le monde entier cet abominable forfait.

Elle a été représentée à cette cérémonie par M. Léon Lindet, notre ancien président, qui y représentait en même temps, l'Académie des Sciences, et par M. F. de Walgue, professeur émérite de l'Université de Louvain, président d'honneur du Cercle industriel de l'Université de Louvain. Ce cercle, qui est membre de notre Société, est composé d'anciens élèves de l'Université.

Notre Société a eu ainsi l'honneur de participer à cette cérémonie à la suite des grands corps d'État et de Sa Majesté le Roi, et à côté de Son Éminence le Cardinal Mercier, du Recteur et des Professeurs de l'Université. M. Lindet a remis en notre nom l'adresse suivante :

La Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale, fondée en 1801, la plus ancienne des sociétés techniques, traduisant l'émotion et l'indignation qu'elle a éprouvées le jour où les Allemands ont voué la calme cité de Louvain et son foyer intellectuel à la terreur de l'incendie, tient à s'associer aux grands organismes d'État qui viennent, en présence de S. M. le Roi, de S. E. le Cardinal Mercier, votre Recteur et vos Professeurs, poser la première pierre de la nouvelle Université.

Pasteur a écrit que la grandeur des actions humaines se mesure aux inspirations qui les ont fait naître ; dans sa foi en l'humanité, il n'aurait pas songé qu'un jour cette belle maxime pourrait être paraphrasée et que l'on serait en mesure d'attribuer aux inspirations du grand état-major allemand la bassesse des actions commises par ses soldats. Tous ceux qui portaient l'uniforme allemand se sont déshonorés en déshonorant la guerre, suivant la belle expression de notre Président Millerand.

Le glorieux martyr de votre Cité se relève, grandi dans la beauté de son sacrifice, et s'apprête à reprendre et à développer sa prospérité d'autrefois.

La Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale adresse son sympathique et déférant salut à l'Université catholique de Louvain, à son Recteur et à ses Professeurs.

Cette adresse, comme toutes celles qu'a reçues l'Université de Louvain, a été remise à M. de Valgue, qui l'a transmise aux autorités universitaires. Toutes seront déposées dans les archives de Louvain et seront reproduites dans le Livre d'Or qui rendra compte des cérémonies inoubliables dont Louvain a été le théâtre le 25 juillet 1921.

Notre adresse contribuera ainsi à resserrer encore les liens de cordiale sympathie que nous entretenons avec l'Université de Louvain. En votre

nom à tous, je remercie vivement M. Lindet qui, dans cette journée historique, a su se faire l'interprète éloquent de nos sentiments unanimes.

Je remercie également M. Fr. de Walgue, d'avoir bien voulu accepter de représenter notre Société à cette cérémonie historique à côté de M. Lindet.

La Société d'Encouragement a été représentée par son président, M. Baclé, à la réception des Ingénieurs américains, organisée par la Société des Ingénieurs civils de France, le 8 juillet 1921.

Les délégués américains représentaient les quatre grandes sociétés d'ingénieurs des États-Unis d'Amérique, savoir :

L'American Society of Civil Engineers;

L'American Institute of Mining and Metallurgical Engineers ;

L'American Society of Mechanical Engineers;

L'American Institute of Electricial Engineers.

Ils sont venus en France chargés de la mission spéciale d'apporter aux ingénieurs civils français les compliments, les félicitations et les remerciements de leurs collègues des États-Unis pour l'œuvre qu'ils ont accomplie pendant la guerre. La Société des Ingénieurs civils, qui les a reçus, a tenu à associer la Société d'Encouragement à cette manifestation faite en l'honneur de la science et de l'industrie françaises, car, ainsi qu'elle a tenu à nous l'écrire, elle n'a jamais pensé un instant que cette manifestation lui fût exclusivement destinée, car les ingénieurs des différents corps et de toutes provenances ont tous pris une grande part à la défense du pays, et il était naturel que les remerciements et les félicitations de nos collègues d'Amérique, qui ne pouvaient s'adresser individuellement aux différents groupements d'ingénieurs, leur fussent transmises par la Société des Ingénieurs civils, chargée de recevoir la délégation américaine. Nous tenons à la remercier à cette occasion, du nouveau témoignage de confraternité et de solidarité qu'elle nous a ainsi donné (1).

Pendant les vacances, notre Société a été invitée en la personne de son président à participer aux fêtes du Centenaire de la Société de Géographie, qui ont eu lieu à Paris du 4 au 7 juillet dernier.

Cette Société s'est rappelée en effet qu'elle a tenu ses premières réunions dans l'Hôtel de notre Société, mis gracieusement à sa disposition par le comte Chaptal qui en était alors président, et nous étions d'autant plus heureux de répondre à son invitation que nous y trouvions un nouveau témoignage de l'estime mutuelle et de la cordialité des rapports de nos deux sociétés qui comptent tant de membres communs; elles sont du reste animées toutes

(1) Le compte rendu détaillé de cette manifestation a été donné dans le procès-verbal de la séance du 8 juillet 1921, de la Société des Ingénieurs civils de France.

deux de cette même préoccupation de contribuer à la gloire et à la prospérité de la France par la diffusion des connaissancee géographiques comme par l'étude des applications de la science dans l'industrie. Je suis certain d'être votre interprète à tous en exprimant, au nom de nos collègues du Conseil et des membres de la Société tout entière, nos remerciements au Bureau de la Société de Géographie, qui a voulu associer notre Société aux fêtes de son centenaire et spécialement à son éminent président, le prince Roland Bonaparte, que nous sommes fiers de compter dans les rangs de notre Conseil.

M. Baclé, *président.* — Notre Société a accordé son patronage à l'Exposition d'Organisation commerciale, organisée en juillet dernier, au Grand-Palais, par la Chambre Syndicale de l'Organisation commerciale, sous le haut patronage de M. le Ministre du Commerce.

Elle a accordé aussi son patronage à la Semaine des Transports, congrès qui se tiendra du 12 au 17 décembre prochain, sous le haut patronage de plusieurs ministères et qui est organisé par le journal quotidien *La Journée industrielle.*

M. Baclé, *président.* — Je crois devoir aussi vous signaler que : ont été nommés pour cinq ans, membres de la nouvelle Commission permanente de Standardisation du Ministère du Commerce : MM. Henry Le Chatelier, Léon Guillet, André Hillairet, Georges Hersent, Auguste Rateau, Delloye, Sauvage, Guillery, membres de notre Conseil; MM. Mariage et Bousquet, membres de notre Société; secrétaire général, M. Lemaire, notre agent général. M. H. Le Chatelier et M. L. Guillet sont vice-présidents de la Commission permanente de Standardisation; M. Delloye et M. Sauvage y représentent notre Société; les autres collègues désignés y représentent divers ministères, sociétés savantes ou techniques. Nous sommes heureux de voir que la moitié des membres de cette commission ont été choisis, à des titres divers, parmi les membres de notre Conseil ou de notre Société, et par eux, elle apportera ainsi sa collaboration féconde dans une œuvre du succès de laquelle dépend notre avenir industriel et économique. Je n'ai pas besoin du reste de vous le rappeler que c'est de notre Société qu'est parti le mouvement de la standardisation industrielle en France, il y a trente ans, à une époque où le mot standardisation était encore inconnu. C'est en 1891, en effet, que notre Société entreprit l'unification des filetages, et établit un système unifié qui, quelques années plus tard, est devenu, à quelques détails près, au Congrès international de Zurich, le système international (S. I.) aujourd'hui universellement employé dans tous les pays qui ont adopté le système métrique.

M. Baclé, *président.* — Plusieurs de nos membres ont continué à nous

adresser une subvention pour nous permettre la publication de notre *Bulletin*. Ce sont : M. BARRAL (2e versement); M. NUSBAUMER (3e versement); M. MENVIELLE (3e versement), et M. QUENELLE (2e versement). Ces donateurs, comme vous le voyez, sont des récidivistes. Nous les remercions très vivement de l'intérêt qu'ils portent à notre publication pour laquelle nous faisons un effort très grand, comme vous pourrez en juger en lisant notre numéro triple des vacances que vous allez recevoir incessamment.

Ce numéro est consacré à notre manifestation en faveur de l'aluminium et des métaux légers, organisée au mois de mai de cette année. C'est un ensemble de monographies sur la question. Cet ensemble est considérable, car ce numéro compte près de 400 pages de notre *Bulletin*, plus de 200 figures et des planches hors texte. A lui seul, il représente une valeur pécuniaire très supérieure à la cotisation de nos membres. C'est un recueil de renseignements précieux, presque tous inédits, sur des industries françaises nouvelles, et qui sera, nous l'espérons, consulté avec fruit par tous ceux qui ont intérêt à connaître les récentes applications de l'aluminium et des métaux légers, à connaître aussi leurs propriétés en vue des applications nouvelles que la lecture de ce numéro de notre Bulletin pourrait leur suggérer.

Le sacrifice que nous nous sommes ainsi imposé nous autorise à adresser un nouvel appel à la générosité de tous ceux de nos membres qui s'intéressent à notre publication.

M. BACLÉ, *président*. — Vous allez entendre M. André Nessi, qui va nous entretenir d'un sujet intéressant à la fois les grandes sociétés industrielles productrices de vapeur, ce qui est le cas général, et les particuliers dont les immeubles et les appartements sont chauffés par la vapeur ou l'eau chaude, et qui, à ce titre, est toujours d'actualité; il s'agit de l'utilisation de l'énergie contenue dans la vapeur à basse pression.

M. Nessi, qui a créé des appareils spéciaux pour l'utilisation de la vapeur à basse pression, s'est acquis une compétence particulière dans cette question. Il a bien voulu nous faire profiter de son expérience par la communication qu'il va nous faire; je l'en remercie à l'avance et je suis certain que vous l'entendrez avec plaisir et profit.

M. ANDRÉ NESSI, Ingénieur des Arts et Manufactures, fait une communication sur *L'utilisation mécanique de l'énergie contenue dans la vapeur à très basse pression et notamment dans le but d'améliorer les installations de chauffage central*.

Il y a encore de très grands progrès à réaliser pour pouvoir diminuer les frais d'exploitation des grandes installations de chauffage central et, en particulier, leur dépense de combustible.

M. Nessi n'envisage tout d'abord que l'économie de combustible immédiatement réalisable, pense-t-il, si on améliore le système de canalisations et le mode de réglage général de la température. Il faut entendre par là le réglage qui s'opère simultanément, sur tous les radiateurs, par la manœuvre d'un ou plusieurs organes situés en un même point tel que la chaufferie.

Ce réglage a pour but de maintenir une température constante dans les locaux chauffés, quelle que soit la température extérieure. Il s'impose particulièrement dans notre pays où la température extérieure hivernale est très variable; on constate en effet que la quantité de chaleur utile à fournir, peut se réduire, d'un jour à l'autre, pendant les 150 jours de chauffage d'un même hiver dans le rapport de 4 à 1.

D'autre part, il importe que l'installation soit à fonctionnement continu et automatique, et que la distribution de chaleur se fasse uniformément quel que soit le régime de marche. La nécessité d'un réglage général de la température est donc d'autant plus grande que l'installation est plus étendue.

Le chauffage par circulation mécanique du fluide chauffant permet d'obtenir les résultats cherchés. Quand c'est de l'eau chaude, on active sa circulation en intercalant une pompe centrifuge sur le collecteur de retour d'eau. La force motrice est celle d'un moteur indépendant, électrique généralement, dont le courant, dans les grandes villas, est fourni par le secteur. Dans ce cas, il faut prévoir un moteur de secours, à essence le plus souvent. Mais ce moteur et le moteur électrique ne peuvent être confiés au personnel inexpérimenté chargé du service des chaudières à fonctionnement continu et automatique employées pour le chauffage central, ce qui fait perdre tout le bénéfice de cet emploi.

MM. Nessi frères réalisent un ensemble parfaitement autonome, à fonctionnement continu et automatique, sans surveillance continue, en employant comme moteur de la pompe de circulation, une petite turbine consommant la vapeur à très basse pression qui provient des chaudières du chauffage.

Ce système nouveau a reçu le nom de *dynamo-circuit à eau chaude* ou *à air chaud*, selon que le fluide chauffant est de l'eau ou de l'air. Dans ce dernier cas, la pompe centrifuge est remplacée par un ventilateur. La turbine motrice spéciale, étudiée à cet effet par MM. Nessi, satisfait aux conditions suivantes.

Sa construction est simple : pompe ou ventilateur sont accouplés directement sur son arbre; elle se met d'elle-même en marche dès que la vapeur d'admission atteint la pression, extrêmement basse, de 20 g : cm^2; il n'y a qu'un seul palier pour tout le groupe, et son graissage est assuré automatiquement, par un seul graisseur, pour un mois au moins : aucun grippage n'est possible; on n'envoie pas d'huile au condenseur; les organes, très robustes, sont facilement interchangeables; leur durée est de beaucoup supérieure à celle des chaudières.

Comme les calories contenues dans la vapeur d'admission qui ne sont pas transformées en travail dans la turbine, sont restituées au chauffage par l'intermédiaire d'un condenseur à grande surface où se réchauffe l'eau de circulation, la consommation de cette turbine se traduit par une dépense de combustible qui est insignifiante par rapport à celle qui correspond au chauffage proprement dit, pratiquement $\frac{2}{1000}$ à $\frac{4}{1000}$ de celle-ci. D'ailleurs, elle ne doit pas entrer totalement en compte puisque le frottement de l'eau dans la pompe et les conduites provoque une récupération d'énergie, sous forme de chaleur, qui est utilisée au chauffage.

Dynamo-circuit à eau chaude. — Dès que la chaudière entre en pression, la vapeur est admise dans la turbine par une soupape qui reste ouverte tant que la vapeur ne remplit pas entièrement le condenseur ou tant que la température de départ que l'on veut obtenir pour l'eau de circulation (température de réglage, variable avec la température extérieure) n'est pas atteinte. Un régulateur automatique de température, manœuvré par un curseur, ne commence à agir que lorsque cette température est atteinte. Quand la vapeur a pris dans la chaudière sa pression normale, elle y est maintenue constante par un autre régulateur; une soupape se lève et une partie de la vapeur de la chaudière vient alors se condenser directement dans le condenseur à surface qui est en même temps le réchauffeur d'eau de circulation; l'échappement de la turbine est envoyé au condenseur.

Des diagrammes inscrivant continuement la température de l'eau de circulation au départ et au retour, relevés en 1912, dans un immeuble parisien, montrent que ces deux températures se maintiennent rigoureusement constantes pendant 24 heures, en marche minima comme en marche maxima, bien que la différence de ces deux températures varie, d'une journée à l'autre, de 3 à 20 degrés, au cours d'un même hiver, selon la température extérieure. La consommation de combustible suit rigoureusement l'abaissement de la température extérieure.

Ce système permet de faire circuler l'eau chaude à très grande vitesse par conséquent dans des canalisations de section très réduite, sans que, d'ailleurs, on ait à se préoccuper de la pente à leur donner; elles sont par suite, faciles à poser et à dissimuler, le cas échéant. En raison du faible volume d'eau, la mise en marche est très rapide; tous les appareils : turbine, pompe, condenseur, régulateurs et commandes, forment un ensemble compact, peu volumineux, qui peut être placé en un endroit quelconque de la chaufferie. De même, le niveau des chaudières peut être quelconque par rapport à ceux des radiateurs. La distribution de la tuyauterie se prête facilement à l'installation de compteurs de chaleur individuels pour chaque usager : le meilleur moyen de réaliser des économies de combustible dans les immeubles à loyer est, en effet, d'intéresser chaque locataire à ces économies.

L'application du système a été faite, dès 1912. M. Nessi décrit notamment :

une installation comptant 350 radiateurs;

un groupe de deux immeubles contigus, l'un à loyer l'autre à usage de bureaux;

un autre groupe de 17 immeubles contigus pouvant consommer 1 485 000 calories par heure;

une distribution d'eau chaude dans un grand hôpital parisien.

Dans le cas du groupe de 17 immeubles — le radiateur le plus éloigné est à 350 m de la chaufferie — on a obtenu les chiffres suivants en comparant les résultats observés à ceux qu'auraient donnés soit la vapeur à basse pression, soit l'eau chaude par thermo-siphon, en admettant que les canalisations puissent suivre le même chemin, ce qui eût été impossible avec la vapeur.

	Eau chaude.	Vapeur B. P.	Dynamo-circuit.
Diamètre du collecteur de départ.	300 mm	200 mm	160 mm
Calories consommées et non employées au Chauffage (conduites calorifugées) en marche : maxima. .	64.000	54.000	32.000
minima. .	30.000	54.000	15.000
Rapport de la consommation hivernale réelle de combustible à la consommation hivernale de combustible théorique maxima . .	1/2	1	1/3

Dynamo-circuit à air chaud. — Ce système a l'avantage d'assurer la ventilation et d'éviter les radiateurs, mais il ne convient guère qu'aux habitations luxueuses ou à certains ateliers devant être à la fois ventilés et chauffés mais momentanément. Ici, l'air est chauffé par son passage dans un aéro-condenseur; la vitesse de circulation de l'air chaud dans les conduits étant élevée, ils peuvent être de section très réduite. Le système peut être substitué à un calorifère à air chaud déjà existant; il se combine fréquemment à la filtration de l'air pris au dehors, et cela avant son réchauffage, ainsi qu'à la distribution d'eau chaude.

Les systèmes de MM. Nessi constituent une étape importante vers la solution du problème de la distribution rationnelle de la chaleur dans nos grandes villes. En raison du prix élevé de la main-d'œuvre et du combustible, de la pénurie et des exigences des domestiques — qui tendront de plus en plus à en raréfier l'emploi — enfin, en raison de la nécessité, dans les villes, d'éviter les fumées et les poussières, il y a intérêt :

A pratiquer le chauffage des habitations dans une centrale unique pour un grand nombre d'immeubles ;

A ce que le fonctionnement de cette centrale soit continu et entièrement automatique, et

A ce qu'on y brûle toute espèce de combustibles inférieurs quasi inutilisables ailleurs, en attendant que le chauffage électrique devienne possible, ce qui suppose le courant produit par des usines hydro-électriqeus. Encore faudra-t-il que la rémunération des immenses capitaux immobilisés dans la construction de ces usines et de leurs canalisations ne vienne pas trop élever le prix du courant. Même dans le cas le plus favorable, il ne paraît pas que le chauffage électrique puisse se généraliser pendant les heures de pointe.

Pour l'instant, et probablement pendant de longues années encore, le combustible idéal pour le chauffage central serait un gaz débenzolé, produit hors les villes, par décomposition pyrogénée de divers combustibles et amené sous faible pression, c'est-à-dire sans perte appréciable, par de fortes conduites dans des sous-stations de chauffe dont chacune serait une centrale pour un nombre d'immeubles aussi grand que possible. Le transport direct de la chaleur à grande distance, dans des conduites d'eau chaude ou de vapeur, tel qu'il était pratiqué couramment aux États-Unis avant 1914, est devenu aujourd'hui beaucoup trop onéreux, même en Amérique.

E. L.

M. Baclé, *président.* — Je remercie M. A. Nessi de son intéressante communication. Le système de chauffage central qu'il préconise peut certainement contribuer à atténuer la crise de combustibles dont nous souffrirons encore longtemps, et on doit souhaiter que tous les intéressés portent leur attention sur les suggestions qu'il vient de nous apporter. Je le prie de vouloir bien nous remettre un mémoire sur la question qu'il a traitée; ce mémoire sera examiné par un de nos comités compétents en vue de son insertion dans notre *Bulletin*.

La séance est levée à 18 h. 40 m.

COMITÉ D'AGRICULTURE

(EXTRAITS DU PROCÈS-VERBAL DE LA SÉANCE DU 9 NOVEMBRE 1921.)

Le Congrès régional du Lin (Rouen, 1921).

M. HENRI HITIER analyse devant le Comité, les rapports du Congrès régional du Lin organisé par les Chemins de fer de l'État sous les auspices de la Société centrale d'Agriculture de la Seine-Inférieure, et qui s'est tenu à Rouen au mois de mars 1921.

Rien, au premier abord, ne paraît plus déconcertant que la lecture des comptes rendus de ce congrès. La situation de l'industrie linière y a été exposée par le président du Comité linier de France, M. Nicolle, de Lille, comme des plus graves, l'avenir de cette industrie comme extrêmement menacé et cela par suite de la pénurie de la matière première. Resteraient, en effet, à alimenter, après la destruction de la guerre, dans le monde, 2.350.000 broches qui exigeraient 230.000 t de filasse. et M. Nicolle estime que le monde, en dehors de la Russie, en produit aujourd'hui 80.000 t.

De son côté M. Duboin, administrateur-délégué des Établissements Feuillette écrit :

« La crise actuelle menace de réduire à néant l'industrie linière.

« Déjà, avant la guerre, l'industrie linière ne pouvait être considérée comme étant dans un état heureux. Les matières premières devaient, pour la plus grande partie, être importées de Russie, notre sol ne produisant le lin qu'en quantités totalement insuffisantes.

« Et du fait de la fermeture du marché russe, non seulement pour le présent, mais en faisant les prévisions les plus optimistes, pour de nombreuses années encore, elle se trouve dans cette situation terrible « posséder les outils, mais incapable de trouver la matière première. »

Il semble donc que les industriels français poussent un cri d'alarme pour inviter les agriculteurs à cultiver le lin, à doubler, à tripler les emblavures. Or, à Rouen, qu'étaient venus faire la majorité des congressistes? Ils n'étaient là précisément que pour chercher un débouché à la matière première dont personne ne voulait et, à la question qui était très nettement posée à M. Nicolle : « Faut-il ou ne faut-il plus cultiver du lin? », le président du Comité linier de France, évitant de prendre tout engagement, se défendit de pouvoir répondre.

Pendant ce temps, cependant, que se passe-t-il en Allemagne?

D'après M. Peufaillit, l'Allemagne qui, avant la guerre, ne cultivait que 8.000 ha de lin, en 1918, en cultivait 40.000 ha, ce qui s'explique par la situation de l'Allemagne à cette date et le blocus qui l'empêchait de se ravitailler en textiles étrangers ; mais, en 1920, alors pareille situation n'existait plus, et les emblavements ont

atteint 85.000 ha et 100 usines de rouissage fonctionnaient. Nous verrons plus loin comment ce développement de la culture et de l'industrie du lin a pu se réaliser.

En fait, en France, tout concourt ou devrait concourir à provoquer une demande active de la matière première de la filasse de lin, à lui valoir des prix élevés, à assurer en tous cas son écoulement facile.

C'est précisément le contraire que l'on constate : l'effondrement des cours sème le découragement et menace de ruine les rouisseurs-teilleurs.

C'est pourquoi nous disions plus haut que rien, au premier abord, ne paraît plus déconcertant que la lecture des rapports et des discussions du Congrès régional du Lin tenu à Rouen en mars dernier.

En examinant les choses de plus près, il semble cependant que le problème peut s'éclaircir. A l'heure actuelle, et pour des causes économiques que M. Duboin, en particulier, a su admirablement exposer, l'industrie linière est encombrée; elle a des stocks qu'elle ne peut écouler et elle ne peut pas continuer à accroître encore ces stocks; mais, d'autre part, elle se rend compte que le jour où la reprise des affaires aura fait reprendre à la toile de lin la place que celle-ci doit occuper, les stocks seront vite épuisés, les commandes afflueront, et l'industrie ne pourra pas les satisfaire parce qu'elle ne pourra pas se procurer la matière première.

La situation anormale actuelle tient pour une grande part, d'après M. Duboin, au manque de liaison, au manque d'entente entre les diverses branches linières françaises, et, à ce sujet, il expose les judicieuses observations que voici, d'une portée générale :

« Pendant de nombreux mois, tout le monde croyait que l'âge d'or était arrivé et chacun, dans un esprit très louable, travaillait de son mieux mais isolément :

« L'ouvrier voyait les gros salaires s'établir définitivement et la journée de travail diminuer;

« Le cultivateur avait le choix entre de nombreux produits qu'il vendait à des prix élevés, n'ayant pas de difficultés à trouver acheteur;

« Le rouisseur-teilleur, connaissant la rareté de lin en paille et voyant la filature se reconstituer, ne discutait pas les prix, ne surveillait pas assez son prix de revient, étant sûr de vendre à un taux rémunérateur;

« Les courtiers réalisaient des opérations faciles et avantageuses;

« Les filateurs, les tisseurs, blanchisseurs, confectionneurs, etc., tous opéraient de même et pour les mêmes raisons;

« Les magasins de vente augmentaient leurs frais généraux pour répondre au goût du public et prenaient un pourcentage de bénéfice au moins aussi élevé qu'avant, malgré l'augmentation du prix d'achat.

« Et tout cela parce que le consommateur achetait, achetait à n'importe quel prix, craignant peut-être que la hausse ne continue, ou pris, lui aussi comme tant d'autres de la folie du stockage.

« Il avait à ce moment les moyens d'acheter. »

Mais le jour où le consommateur s'est trouvé obligé de se restreindre, toute l'industrie linière s'est trouvée brusquement arrêtée.

Devant cette situation, déclare M. Duboin, tous les producteurs doivent savoir faire des sacrifices, et cela dans leur propre intérêt.

Il faut, avant toute autre préocupation, rétablir la consommation de la toile de lin et par conséquent, la mettre au niveau de la capacité d'achat du consommateur.

C'est donc entre les mains des détenteurs de toile de lin que réside le remède immédiat. Mais il serait profondément injuste et contraire aux intérêts bien compris de tous les producteurs de laisser les seuls détenteurs de toile supporter la perte nécessaire. Il faut qu'un sacrifice analogue soit consenti par tous les producteurs, qui doivent réaliser les stocks existants, aux prix nouveaux qui permettront à l'industrie linière de vivre dans l'avenir.

Seule une entente complète entre les différents échelons et une mise en commun de leurs intérêts particuliers semblent devoir donner à l'industrie linière la stabilité économique qui lui est nécessaire.

Si l'industrie veut vivre, il faut que la culture lui fournisse sa matière première ; si l'agriculture veut être assurée de l'écoulement régulier et rémunérateur de sa production, il faut que l'industrie vive.

Il faut donc qu'elles s'entendent. Et M. Duboin montre comment en ajoutant :

« Cette première entente doit être réalisée dans des conditions telles que l'agriculture et l'industrie puissent réaliser chacune des bénéfices normaux, tout en mettant à la disposition du consommateur des produits à des prix abordables.

« Il faut que l'industrie soit en contact direct et constant avec l'agriculture, pour l'éclairer sur ses besoins exacts et éviter le retour d'une situation, fréquente dans le passé, où les qualités de lins cultivés en France ne répondaient pas aux qualités de fils et de toile fabriqués par les usines françaises.

« Il faut que l'agriculteur sache quelles sont les sommes qu'il doit employer, quels sont les engrais qu'il doit répandre pour obtenir, non seulement la quantité, mais surtout la qualité.

« Il faut que le cultivateur réduise son prix de revient, notamment par l'emploi de moyens mécaniques pour l'arrachage, mais il faut qu'il sache, dès l'ensemencement, quel est son acheteur et quel est le prix qu'il obtiendra pour une qualité étalon.

« Il faut donc que les diverses qualités de lins soient nettement et clairement classifiées. »

Nous citions plus haut l'essor considérable pris en Allemagne par la culture et l'industrie du lin depuis 1914; c'est précisément parce que l'entente et l'accord entre cultivateurs, rouisseurs, filateurs et tisseurs ont su être réalisés que cultures de lin et usines de rouissage s'y sont tant développées.

Les prix du lin paille et de la filasse sont établis d'avance de sorte que producteurs, cultivateurs et rouisseurs savent dans quelles conditions ils peuvent semer et rouir les lins.

D'autre part, le Gouvernement allemand a encouragé très efficacement ce mouvement d'extension des cultures et des industries linières en s'engageant à payer 40 p. 100 des frais d'installation des usines de rouissage établies sur un modèle type (1).

Entrant en partie au moins dans les vues si justes de M. Duboin, le Congrès de Rouen vota le principe d'un comité interprofessionnel permanent au sein duquel

(1) Un syndicat puissant groupe fermiers, rouisseurs, filateurs, tisseurs; son action s'étend sur toute l'Allemagne. Se tenant au courant de tout ce qui peut intéresser l'industrie linière, il fait pour la culture du lin uue propagande très active.

A Sorau est construit un type spécial d'arracheuse mécanique et l'association linière de Sorau comptait disposer en 1921 de 50 à 60 de ces arracheuses mécaniques.

cultivateurs et industriels, liniers, filateurs compris, étudieront toutes mesures devant servir leur cause commune.

D'autre part M. Duboin s'est trouvé au Congrès d'accord avec M. Nicolle pour reconnaître qu'une des causes de la faible production du lin en France provenait de l'insuffisance notoire des établissements de rouissage-teillage.

Cette industrie intermédiaire entre la culture et la filature n'est pas assez développée. Il est de l'intérêt de la culture et de la filature de s'unir pour vaincre cette difficulté. Et c'est là que peut se réaliser le premier trait d'union entre l'agriculteur et l'industriel. Des coopérations de rouissage-teillage apparaissent alors particulièrement intéressantes.

Enfin, à ce même Congrès de Rouen, a été exposé le devoir qui s'impose à la France de chercher par tous les moyens à encourager la production du lin dans l'intérêt de la défense nationale. Le colonel Seguin, directeur des Services des Fabrications de l'Aéronautique, a fait à ce sujet les déclarations les plus nettes. Il nous faudrait cultiver en lin 70.000 à 80.000 ha pour nous assurer la production nécessaire aux besoins de la guerre seule (1).

Essais industriels sur les cotons à longue soie du Cambodge.

M. L. Mangin présente au Comité d'Agriculture la communication suivante de l'Agence économique de l'Indochine (41, avenue de l'Opéra, Paris).

Dans le courant de 1920, le Résident supérieur au Cambodge adressait pour essais à la Socité alsacienne de l'Industrie cotonnière, de Mulhouse, deux balles de coton provenant des terres rouges du Cambodge, sur lesquelles la culture de ce textile commence à se pratiquer depuis quelques années, et où elle est susceptible d'une énorme extension, puisque la superficie occupée par cette nature de terrains, qui conviennent particulièrement au cotonnier, peut être évaluée à plus de deux millions d'hectares.

Ces deux balles représentaient deux types de coton un peu différents. L'une (n° 75) était un coton ayant des fibres d'une longueur moyenne de 25 à 26 mm, très propre, très blanc et de teinte régulière, un peu frisé, d'aspect laineux, à fibres un peu plus grosses, plus raides et plus cassantes que celles du coton d'Amérique, présentant peu de boutons et exempt de coton mort. L'autre (n° 76) ne différait du premier que par ses fibres un peu moins longues (23 à 25 mm) et par sa teinte plus jaunâtre.

Les essais ont été effectués dans l'usine *Filature et Tissage de la Cité*, à Mulhouse, sous la direction de M. Bindschedler, directeur général de cet établissement.

(1) Des renseignements que nous avons reçus en octobre des principaux centres de culture de lin en France, notamment de la Seine-Inférieure, ainsi que des centres industriels, il résultait que nous entrions heureusement dans une période de reprise. Malgré tout, la moitié de la récolte de lin de 1920 restait encore à vendre, l'écoulement s'en faisait par très petites quantités à la fois et au prix moyen de 50 f des 100 kg (paille avec grain rendu sur wagon départ).

La récolte de 1921 se vendait en août 30 à 40 f suivant les qualités; en octobre il y avait un peu plus d'activité sur les marchés : la moyenne qualité valait 50 f; la mauvaise, 20 f; la bonne, 75 f les 100 kg. Mais le rendement moyen à l'hectare en Seine-Inférieure a été de 3.500 kg en 921 contre 5.000 en 1920.

Or les frais de production à l'hectare sont évalués en Seine-Inférieure à 2.500 f.

Les deux balles ont été traitées séparément, sur des machines réglées pour le travail du coton d'Amérique, à fibres de 28/29 mm, avec les mêmes torsions et les mêmes numéros de préparation.

Il a été établi avec chacun des deux types des échantillons de : chaîne numéros français 12, 14 et 17, et trame numéros français 10, 12, 14, 17 et 20.

Le tableau suivant indique les forces relatives (en grammes pour fil double de 50 cm de longueur) de chaque numéro de chaîne pour les deux types, comparées à la force de la moyenne des filés des mêmes numéros en coton d'Amérique f. m. 25/29 mm.

Chaine.	Type n° 75.	Type n° 76	Filés d'Amérique.
—	—	—	—
N° français 12	1,010	917	915
— 14	932	848	850
— 17	783	689	740

Les filés du type n° 76 sont donc sensiblement de la même force que les filés en coton d'Amérique, sauf pour le n° 17, où le type n° 76 se montre inférieur.

Le type n° 75 donne des filés nettement supérieurs aux filés d'Amérique comme force, se rapprochant toutefois de ceux-ci dans le n° 17.

En résumé, les résultats de ces essais, effectués sur une échelle véritablement industrielle, sont entièrement satisfaisants, puisqu'ils montrent sans aucun doute possible que les cotons à longue soie provenant des terres rouges du Cambodge, sont susceptibles de donner de bons filés, comparables à ceux qu'on obtient avec les cotons américains, à condition seulement de limiter leur emploi aux numéros qu'en Alsace on qualifie de gros, c'est-à-dire jusqu'aux numéros 17 à 20.

On pourra d'ailleurs chercher à obtenir, par sélection ou par croisement, des cotons cambodgiens à fibres plus fines, qui en permettront l'emploi pour des filés de numéros supérieurs.

Il est donc permis d'affirmer qu'en ce qui concerne la possibilité d'obtenir en Indochine, et particulièrement au Cambodge, des cotons pouvant remplacer pour nos filatures les cotons américains, la question est dès maintenant entièrement résolue au point de vue de la technique industrielle. Il ne reste plus, et c'est à vrai dire une tâche considérable, qu'à développer la production du coton indochinois dans une proportion répondant aux besoins de notre industrie textile, ce qui est avant tout une question de capitaux et de main-d'œuvre

Des échantillons de filés de coton cambodgien obtenus par la Société alsacienne d'Industrie cotonnière, ainsi que des spécimens de cretonne tissée avec ces mêmes filés, figurent dans les collections de l'Agence économique de l'Indochine, 41, avenue de l'Opéra, où toutes les personnes que ces échantillons intéressent peuvent en prendre connaissance.

M. MANGIN ajoute : L'Agence économique continue ses travaux extrêmement remarquables et recherche le plus possible à mettre en valeur nos produits d'Indochine. Il faut l'en féliciter. Elle concentre à Paris tous les produits de l'Indochine, les fait étudier, les envoie au Muséum national d'Histoire naturelle pour leur donner une identité, puis les transmet soit chez les filateurs, soit partout ailleurs où l'on peut étudier leurs propriétés et voir dans quelle

mesure ils peuvent être utilisés. C'est un effort intéressant, que je serais heureux de voir développer de la même manière pour toutes nos colonies. Il y a d'ailleurs un mouvement dans ce sens, qu'il faut encourager.

COMITÉ DE COMMERCE

(Extrait du procès-verbal de la séance du 3 novembre 1921.)

L'activité de l'Association cotonnière coloniale depuis 1914.

(Rapport présenté par M. F. Roy, délégué de la Société d'Encouragement à l'Association cotonnière coloniale).

La conférence faite devant votre Société le 2 janvier 1918 par le délégué général de l'Association cotonnière coloniale a exposé d'une façon très détaillée l'importance qu'il y avait pour la France à développer dans ses colonies la culture du cotonnier et donnait des renseignements complets sur ce qui avait été fait jusqu'à ce jour par cette association.

Depuis cette époque, tous ses efforts ont porté vers la remise en état de toutes ses usines d'égrenage et la totalité de ses ressources y a été consacrée. En effet par suite des difficultés d'approvisionnement et de transport durant la guerre, ces usines n'avaient pas pu être entretenues comme il convenait et le matériel soumis à un travail intense avait besoin d'être renouvelé.

La production du coton, stimulée par les prix excessivement élevés atteints par le coton, s'était en effet développée dans des proportions importantes. C'est ainsi que, pour les seules colonies du Haut-Sénégal-Niger, du Dahomey et de la Côte d'Ivoire, l'exportation avait atteint :

En 1914, 287.000 kg; en 1916, 545.000 kg; en 1917, 660.000 kg; en 1918, 892.000 kg; et, en 1919, 635.000 kg.

Pour cette dernière année une grande partie de la récolte n'avait pas encore pu être envoyée en France à la fin de l'année, faute de moyens de transports.

Pour l'année 1920, les statistiques douanières ne sont pas encore parvenues au complet, mais nous présumons que l'augmentation ne sera pas sensible, les indigènes ayant consommé sur place la plus grande partie de la récolte pour alimenter l'industrie indigène du tissage qui avait presque totalement disparu depuis de nombreuses années et qu'on a vu reparaître partout par suite de la pénurie de cotonnades importées d'Europe et de leurs prix très élevés. Cet état de choses ne sera que temporaire, de même que l'on arrivera à stabiliser les prix d'achat sur place, ces prix ayant forcément suivi ceux du marché du coton. Les indigènes à qui l'on avait payé le coton brut à des prix fabuleux montraient quelque résistance à céder leur coton aux prix correspondant aux cours du coton lorsque ceux-ci, qui

avaient atteint au Havre le maximum de 970 f les 50 kg le 12 avril 1920, tombèrent à 174 f le 24 juin dernier.

Indépendamment des colonies de la Côte Occidentale, la production du coton s'est considérablement développée dans nos possessions de l'Océanie pour atteindre, en 1917, un maximum de 973.000 kg. Ces cotons, toutefois, par suite du manque de moyens de transport n'ont pu être qu'en partie acheminés vers la France et ont été absorbés principalement par l'Australie. La culture dans ces régions est entreprise par des sociétés et le rôle de l'Association est limité à la fourniture d'égreneuses et de presses permettant la préparation et l'exportation des cotons produits.

Il résultait des conclusions du rapport précité que la culture du coton était entrée dans les habitudes des indigènes de nos possessions de l'Afrique Occidentale et que la qualité en avait été suffisamment améliorée pour que ce coton pût être employé d'une façon courante par les filateurs français.

Il reste à cette association à porter ses efforts vers l'augmentation de la production par les indigènes et vers l'amélioration constante des qualités produites. Les indigènes en effet ne disposent que d'instruments de culture des plus rudimentaires et il ne fait pas de doute que s'ils pouvaient utiliser des moyens plus perfectionnés, la production se développerait considérablement sans qu'ils aient à fournir un travail excédant leurs possibilités. Dans ce but, l'Association projette de créer au Soudan des fermes destinées à expérimenter des instruments agricoles et d'en enseigner l'emploi aux indigènes auxquels ils seraient remis. Sur ces fermes, le cotonnier serait cultivé suivant les meilleures méthodes reconnues et ces cultures produiraient des graines améliorées et sélectionnées que l'on distribuerait aux indigènes.

Le Gouvernement général de l'Afrique Occidentale a fait étudier un projet de canal d'irrigation pour arroser une partie de la région comprise entre le Niger et le Bani qui convient particulièrement à la culture du cotonnier. L'exécution de ce projet nécessitera de nombreuses années et il paraît indispensable que pendant la durée de ces travaux des études soient continuées de manière qu'à leur achèvement la culture du coton puisse être entreprise sur des données assurant des chances de réussite aux entreprises qui s'y livreront.

L'Association, dont le but était de déterminer celles de nos colonies françaises où la culture du coton pouvait être entreprise avec succès, a réalisé la première partie de son programme. Son action est encore indispensable pendant de nombreuses années afin que les travaux de recherche des meilleurs procédés de culture et d'amélioration des espèces ne soient pas interrompus d'ici le moment où les grands travaux hydrauliques prévus seront achevés et permettront à des entreprises privées de créer de grandes exploitations. Une première entreprise de ce genre s'est fondée récemment dans le but de cultiver du coton sur des territoires situés en bordure du Niger dans la région de Goundam où des études entreprises par l'administration du Soudan ont révélé des conditions favorables à cette culture.

D'autre part, les maisons de Bordeaux spécialement intéressées au Soudan procèdent en ce moment à l'organisation d'une exploitation dans la région de Bamako-Koulikoro.

Jusqu'à ce jour si nous ne mentionnons que les machines, l'Association cotonnière coloniale a fourni : 5 moteurs à vapeur, 10 moteurs à pétrole, 150 machines à égrener, 17 presses hydrauliques et 32 presses à main.

BIBLIOGRAPHIE

Introduction mathématiques aux sciences techniques de l'ingénieur, par M. GABEAUD, ingénieur, ancien élève de l'École Polytechnique et de l'École supérieure d'Électricité. *Encyclopédie industrielle et commerciale*, 3e éd. Un vol. broché (25×16 cm) de VI + 438 p., avec 191 fig. Paris, Librairie de l'Enseignement technique, Léon Eyrolles, éditeur, 3bis, rue Thénard, 1920.

L'ouvrage de M. Gabeaud qui fait partie de l'Encyclopédie industrielle et commerciale, est plus spécialement destiné aux élèves de l'École spéciale des Travaux publics, dont le principe pédagogique est de développer l'enseignement individuel à l'aide de devoirs faits à domicile et corrigés par les professeurs de cette école.

L'Introduction mathématique aux Sciences techniques de l'Ingénieur n'a pas pour but, bien entendu, de remplacer les ouvrages classiques sur les diverses branches des mathématiques nécessaires à l'ingénieur, mais de permettre à un esprit travailleur qui, pour diverses raisons, n'a pu suivre les cours de l'enseignement secondaire et supérieur, d'arriver à une connaissance suffisante des mathématiques pour les applications usuelles.

M. Gabeaud étudie successivement, dans son ouvrage : l'algèbre, le calcul différentiel et intégral, la trigonométrie et la géométrie analytique, et il termine par des considérations élémentaires sur la théorie des vecteurs.

La dernière partie comprend des principes de mécanique touchant la cinématique et la dynamique.

D'une manière générale, l'auteur évite les démonstrations qui obligent de recourir à des principes généraux et au développement de toute la théorie mathématique. Ses raisonnements sont beaucoup plus simples et à la portée de tout jeune esprit qui, ayant des notions élémentaires, est capable d'un travail personnel. Mais, bien entendu, ces raisonnements n'embrassent pas tous les cas et ne peuvent pas répondre à toutes les objections qui se présentent dans l'analyse.

M. Gabeaud tient à expliquer, dans le détail, toute la marche de ses raisonnements, et c'est là ce qui distingue essentiellement son ouvrage de tous nos traités classiques où le lecteur est naturellement obligé de rétablir par lui-même les diverses phases de l'argumentation qui ne sont pas toujours détaillées.

L'ouvrage de M. Gabeaud rendra certainement service à bien des gens qu éprouvent des difficultés trop grandes à la lecture des ouvrages généraux concernant les sciences mathématiques, et leur permettra déjà de se rendre maîtres d'un certain nombre de théories usuelles indispensables à l'art de l'ingénieur.

JEAN REY.

Précis pour le calcul des ouvrages en béton armé, professé à l'École spéciale des Travaux Publics, du Bâtiment et de l'Industrie, par M. G. Espitallier, Lieutenant-Colonel du Génie, ancien professeur du Cours de Construction à l'École d'Application de Fontainebleau, 2e éd. Un vol. (25 × 16 cm) de 238 p., 108 fig. Paris, Librairie de l'Enseignement technique, Léon Eyrolles, éditeur, 3bis, rue Thénard, 1921 (Prix 15 f).

Le nom du Lieutenant-Colonel Espitallier est associé depuis bien des années aux progrès de la technique du béton armé; et l'on peut dire que la clarté et la précision de son enseignement n'ont pas peu contribué à en répandre la connaissance et à en multiplier les applications. Les sept éditions de son *Cours de béton armé* en font foi et lui ont valu à cet égard une réputation justement méritée.

Mais il a voulu faire plus encore pour la vulgarisation de l'emploi rationnel du béton armé, en mettant à la portée de tous les praticiens les notions indispensables et les méthodes simplifiées de calcul, qui auront pour effet d'en faciliter de toutes manières la diffusion et d'en répandre de plus en plus l'usage.

Tel est l'objet de ce *Précis pour le calcul des ouvrages en béton armé*, où il a su condenser, sous une forme concise et lumineuse tout à la fois, les données essentielles concernant les ouvrages en béton armé qui sont entrés dans la pratique.

Un premier chapitre, de quelques pages seulement, définit les matériaux — métal, ciment, béton — qui entrent dans la composition du béton armé.

Les deux suivants, également brefs, traitent des pièces soumises à la *compression simple*, exposées au flambage, que l'on raidit au moyen de barres longitudinales et de ligatures transversales, dont le pourcentage augmente avec les efforts, jusqu'à ce qu'on en arrive au frettage; de claires définitions, des équations simples, d'utiles tableaux, concourent à donner une vision rapide et juste des divers problèmes qui se présentent dans la pratique et à en faciliter la solution.

Appliquée dans les cinq chapitres consacrés à la *flexion*, à l'organisation des pièces fléchies, aux conditions d'équilibre de ces pièces, aux règles expéditives qui en facilitent le calcul, la même méthode, à la fois simple et rationnelle, permet de résoudre aisément toutes les difficultés qu'on rencontre dans la pratique ordinaire.

Après quoi commence une revue générale, en dix chapitres, des ouvrages pour lesquels on a employé couramment le béton armé — travaux de fondation, murs de soutènement, barrages et réservoirs, ponts à poutres droites et autres, voûtes diverses rigides ou à trois rotules, arcs encastrés, poutres, ponts à tablier inférieur, dômes et coupoles, tuyaux et réservoirs, etc. — avec des considérations judicieuses, des exemples bien choisis, des types de calcul utiles, de nombreuses indications pratiques, qui font de ce livre un véritable *vade mecum* du constructeur spécialiste en béton armé.

G. Bechmann.

Primer Congreso nacional de Ingeniería (Madrid, 1919), (*Comptes rendus du Premier Congrès espagnol de l'art de l'ingénieur*). Tome I : Travaux publics et Industries des Transports; Matériel roulant et Constructions navales; Mécanique et Machines-outils, 680 p. — Tome II : Mines et Métallurgie; Physique et Chimie industrielles; Électrotechnique, 584 p. — Tome III : Industries agricoles et forestières; Applications de l'Industrie à l'Art de la Guerre, 640 p. — Tome IV : Enseignement technique et professionnel; Organisation du Travail

dans les Usines; Hygiène et Économie sociale; Législation industrielle, 616 p. 4 volumes illustrés, de 18 × 25 cm. « Artes gráficas » sucesores de Rivadeneyra, 20, Paseo de San Vicente, Madrid, 1920. Un tome seul, 15 pesetas; les quatre tomes, 50 pesetas.

Le premier Congrès national de l'Art de l'Ingénieur s'est tenu à Madrid du 16 au 25 novembre 1919. Il a été organisé par l'Instituto de Ingenieros civiles de España, qui a tenu à adresser à la Société d'Encouragement un exemplaire des comptes rendus de son congrès en témoignage de sa considération et de sa sympathie.

Les travaux ont été répartis entre douze sections dont les comptes rendus font l'objet de quatre volumes, à raison de trois sections par volume. Pendant le Congrès s'est tenue une exposition de dessins et de modèles qui a reçu de nombreux visiteurs.

L'importance et la variété des rapports qui ont été présentés à ce congrès, le nombre de ceux qui y ont pris part (4.110 congressistes se sont fait inscrire) donnent une idée exacte de l'essor pris par un grand nombre d'industries espagnoles en ces dernières années, et notamment pendant la guerre. En parcourant les quatre gros volumes qui résument ou donnent *in extenso* les travaux du Congrès, on a l'impression que, surtout pendant la guerre, l'Espagne s'est outillée, est devenue vraiment un pays industriel, possédant un corps d'ingénieurs nationaux avec leur originalité propre, et avec lequel les pays concurrents devront très probablement compter dans un avenir prochain. Les savants ingénieurs civils espagnols sont assez nombreux et assez expérimentés aujourd'hui pour exploiter à son propre profit les richesses de leur pays; il n'est pas douteux qu'ils ne failliront pas à leur tâche, car cette préoccupation paraît être la note dominante de presque tous les mémoires présentés au Congrès.

E. L.

Nos usines métallurgiques dévastées (1914-1918). *Monographies de quelques grandes usines métallurgiques françaises détruites par les Allemands*, rédigées par un groupe d'ingénieurs. Introduction par M. Léon Guillet, professeur de métallurgie au Conservatoire des Arts et Métiers et à l'École Centrale des Arts et Manufactures. Un vol. broché (22 × 28 cm), de 234 p. avec 300 fig. (vues photographiques), cartes et planches hors texte. Édité par la *Revue de Métallurgie*, 5, Cité Pigalle, Paris (9e), 1921 (25 f).

Cet ouvrage, édité par la *Revue de Métallurgie*, a surtout pour but de fixer de façon irréfutable et durable, l'étendue des destructions, organisées méthodiquement pendant la guerre, par des techniciens, des ingénieurs, des industriels allemands, contre leurs concurrents français, en vue d'anéantir une grande industrie française. Cependant, afin que le lecteur ne reste pas sous l'impression de ruines, les auteurs de la publication ont signalé aussi l'effort accompli par les métallurgistes français dans la restauration de leurs usines.

L'ouvrage se compose de monographies, relatives à de grandes usines françaises détruites par les Allemands, rédigées par un groupe d'ingénieurs, et d'une introduction de M. L. Guillet. En vue de la diffusion de cet ouvrage à l'étranger, où on

ignore encore trop les ravages commis dans notre pays par les Allemands, un résumé de l'introduction de M. Guillet et les légendes des figures ont été traduits en anglais, en espagnol et en italien.

E. L.

Le statut fiscal des régions envahies ou situées sur la ligne de feu, par M. Pierre Bodin, docteur en droit. Un vol. broché (12 × 19 cm) de 64 p. Paris, G. et M. Ravisse, éditeurs, 1921 (4 f).

L'intention de l'auteur a été d'éclairer les contribuables des régions envahies ou situées sur la ligne de feu, sur la portée des dispositions complexes et souvent obscures de la loi du 16 juillet 1921 qui règle le régime de leurs impôts.

Ce livre envisage les anciens et les nouveaux impôts directs, les droits de douane, les contributions indirectes, les droits d'enregistrement, la prorogation des délais relatifs à la prescription des valeurs mobilières et des coupons.

Les renseignements ont une portée exclusivement pratique et sont accompagnés d'exemples et du tableau des déclarations à souscrire.

Chambre syndicale des Constructeurs de Navires et de Machines marines. Annuaire 1921-1922. Un vol. br. (13 × 22 cm) de 720 p. Paris, 7, rue de Madrid (25 f).

Cet annuaire contient la liste des constructeurs de navires et de machines marines, ainsi que des renseignements sur chacun d'eux, notamment sur la nature de leur construction.

On y trouve aussi des renseignements :

sur l'Union des Industries métallurgiques et minières, de la Construction mécanique, électrique et métallique et des industries qui s'y rattachent;

sur les diverses institutions de prévoyance créées sous le patronage de l'Union des industries métallurgiques et minières;

sur les conditions générales des marchés de la Marine.

Il renferme en outre :

un extrait du règlement du Bureau Veritas pour la construction et la classification des navires en acier et

un répertoire technique des fournisseurs de la Marine et des constructions navales.

Les paliers et leur graissage par la Vacuum Oil Company, société anonyme française, Paris, 34, rue du Louvre. Une brochure (23 × 29 cm) de 32 p. avec 41 fig. en trois couleurs.

Cette brochure, envoyée gratuitement sur demande adressée à la Vacuum Oil Co, n'a aucun caractère de publicité. C'est un excellent petit traité qui expose en détail et simplement le problème de la lubrification dans le cas général et dans celui des principaux types de paliers et de chaque mode de graissage. Bien des mécaniciens, des contremaîtres et même des ingénieurs le consulteront avec profit.

On y trouvera en outre :

1° la description et le mode d'emploi des appareils destinés à mesurer les carac-

téristiques des lubrifiants : densité, points de congélation, d'inflammabilité et de combustion, viscosité, perte par évaporation, composition;

2° une étude impartiale sur le choix des lubrifiants selon leur mode d'emploi et le type de palier à graisser;

3° un exposé des accidents de paliers et des soins à donner aux lubrifiants.

Dictionnaire de l'aviation, par M. André Lainé, pilote aviateur, instructeur technique, avec une préface de M. Paul Painlevé, membre de l'Institut. Un vol. relié ($12 \times 17,5$ cm) de 408 p. avec figures. Paris et Limoges. Charles Lavauzelle, édit. 1920.

Cet ouvrage sera des plus utiles non seulement aux conducteurs d'aéronefs mais à tous ceux qui s'intéressent à l'aviation.

Chaque question est traitée à la suite d'un mot et tous ces mots sont classés par ordre alphabétique comme dans un dictionnaire. C'est ainsi qu'on trouve successivement : câble, calage de la magnéto, came, campement, canalisation d'essence, canaux, capotage, Caproni (ici une description complète de 6 pages plus une figure avec des sous-titres : voilure, nacelle, fuselages, commandes, train d'atterrissage), carburation, carlingue, carte, etc.

Pour diminuer la difficulté de recherches inhérente au classement alphabétique quand une idée complexe est rendue par un ensemble de mots ou par une périphrase, l'auteur, fort judicieusement, a multiplié les renvois, ce qui, en outre, évite les répétitions inutiles. Ainsi : came renvoie totalement à arbre à cames; une partie de canalisation renvoie à tuyauteries.

Les explications sont claires et aussi brèves que possible; les figures remplacent les explications toutes les fois que, sans elles, ces explications seraient fastidieuses ou manqueraient de clarté.

E. L.

OUVRAGES REÇUS A LA BIBLIOTHÈQUE

EN OCTOBRE ET NOVEMBRE 1921

Guillet (Léon). — **Traité de métallurgie générale** (*Encyclopédie minière et métallurgique*). In-8 (23 × 15) de VIII + 528 p., 335 fig. Paris, J.-B. Baillière et fils, 1922. **16 259**

Espitallier (G.). — **Précis pour le calcul des ouvrages en béton armé**, cours professé à l'École spéciale des Travaux publics, du Bâtiment et de l'Industrie (*Encyclopédie industrielle et commerciale*). 2e éd. In-8 (25 × 16) de 238 p., 108 fig. Paris, Librairie de l'Enseignement technique, Léon Eyrolles, 1921. **16 260**

Baud (Paul). — **Les industries chimiques régionales de la France**. In-12 (19 × 13) de XIII + 244 p. Paris, G. Doin, 1922. **16 261**

Lagardelle (Gabriel). — **Manuel du forgeron** (*Bibliothèque professionnelle*). In-18 (16 × 10) de 419 p., 253 fig. Paris, J.-B. Baillière et fils, 1921. **16 262**

Leroux (Eugène). — **Osiériculture**. Culture de l'osier et vannerie d'osier (*Encyclopédie agricole*). In-12 (19 × 12) de XII + 352 p., 183 fig. Paris, J.-B. Baillière et fils, 1921. **16 263**

Franchet (Antonin) et Franchet (Léon). — **La culture générale des jeunes gens se destinant à l'industrie**. Éducation intellectuelle et morale et enseignement du français. Géographie du travail et questions économiques. Histoire du travail et historique de sa législation. Organisation du travail industriel. In-8 (20 × 13) de 374 p., fig. Paris, Dunod, 1921. **16 264**

Levasseur (Albert). — **Les métallurgies électrolytiques et leurs applications**. In-8 (21 × 14) de VI + 256 p., 22 fig. Paris, Dunod, 1921. **16 265**

Japiot (Marcel) et Ferrand (A.). — **La traction électrique aux États-Unis** (*Annales des Mines*, octobre 1920 à mars 1921). In-8 (23 × 14) de 612 p., 126 fig., XI pl. Paris, Dunod, 1921. **16 266**

Marcotte (Ed.) et Béréhare (E.). — **Les matériaux des constructions mécaniques et aéronautiques**. Calculs de résistance. Étude des matières premières. Essais des bois. Essais des métaux et de leurs alliages. In-4 (28 × 19) de VIII + 414 p., 195 fig. **Bibliographie**, p. 401. Paris, Dunod, 1921. **16 267**

Ministère de l'Agriculture. Direction générale des Eaux et Forêts (2e partie). — **Service des grandes forces hydrauliques (Région du Sud-Ouest)**. Tome VII, fasc. B : *Résultats obtenus pour le bassin de l'Adour pendant les années 1917 et 1918*. — Tome I *bis*, fasc. A : *Résultats obtenus pour le bassin de l'Adour (1910 à 1916)*. **16 268-9**

Instituto de Ingenieros civiles de España. — **Primer Congreso Nacional de Ingeniería**, celebrado en Madrid durante los días 16 al 25 de noviembre de 1919. In-8 (25 × 18). Tomes I à IV. Madrid, 1920. **16 270-3**

Godeau. — **Menuiserie, parquetage, treillage** (*Bibliothèque professionnelle*). In-18 (16 × 10) de 300 p., 368 fig. Paris, J.-B. Baillière et fils, 1921. **16 274**

Prat (D. de). — **Traité de tissage au Jacquard**. Précédé d'une notice historique sur l'invention de Jacquard. In-8 (25 × 16) de XXXVI + 394 p., 250 fig. **Bibliographie**, p. 381. Paris, Ch. Béranger, 1921. **16 275**

Rougier (Louis). — **La matière et l'énergie selon la théorie de la relativité et la théorie des quanta.** 2e éd. In-8 (25 × 16) de XI + 112 p. **Bibliographie, p. 109-110.** Paris, Gauthier-Villars et Cie, 1921. **16 276**

Ocagne (Maurice d'). — **Traité de nomographie.** Étude générale de la représentation graphique cotée des équations à un nombre quelconque de variables. Applications pratiques. 2e éd. In-8 (25 × 16) de XXIV + 483 p., 182 fig. **Liste des publications de l'auteur relatives à la Nomographie,** p. XIX-XXIV. Paris, Gauthier-Villars et Cie, 1921. **16 277**

Foucard (A.). — **Technologie de la forge. Les tuyères.** In-8 (25 × 16) de V + 95 p., 178 fig. Paris, Dunod, 1921. **16 278**

Eglène (Léon). — **Manuel d'essais simples et rapides suivis de quelques indications pratiques à l'usage des tanneurs et des mégissiers** et de tous ceux que peut intéresser l'industrie du cuir. In-8 (22 × 14) de XV + 110 p. **Bibliographie,** p. 110. Paris, Dunod, 1921. **16 279**

Goudie (William-J.). — **Les turbines à vapeur.** Traduit par Benjamin Giraud. In-4 (28 × 19) de VI + 534 p., 230 fig., I pl. Paris, Dunod, 1921. **16 280**

Béghin (H.). — **Statique et dynamique.** II. (*Collection Armand Colin, n° 10. Section de mathématiques*). In-16 (17 × 11) de 208 p., 151 fig. **Bibliographie,** p. 205, Paris, Librairie Armand Colin, 1921. **16 281**

Fabry (Charles). — **Éléments d'électricité.** (*Collection Armand Colin, n° 11. Section de physique*). In-16 (17 × 11) de VIII + 198 p., 70 fig. Paris, Librairie Armand Colin, 1921. **16 282**

Bodin (Pierre). — **Le statut fiscal des régions envahies ou situées sur la ligne de feu.** Commentaire de la loi du 16 juillet 1921. In-12 (19 × 12) de 64 p. Paris, G. et M. Ravisse, 1921. **16 283**

*
* *

Service technique de l'Aéronautique. — I : **Les essais d'hélices.** — II : **Essais des lubrifiants.** Caractéristiques générales des lubrifiants susceptibles d'être utilisés dans l'aéronautique. — III : **Essais d'alliages extra-légers à base de magnésium.** — IV : **Étude d'un alliage d'aluminium à forte proportion de cuivre.** (*Bulletin technique*, n° 2, juillet 1921, de 41 p., 4 fig., VIII pl.) **Pièce 12 639**

Société des Ingénieurs civils de France. — **Réception de la délégation des grandes Sociétés américaines d'Ingénieurs.** (*Procès-verbal de la séance du 8 juillet 1921*, de 30 p., I pl.). Paris, 19, rue Blanche (9e), 1921. **Pièce 12 640**

Nessi (André). — **Du rôle des anciens élèves de l'École centrale des Arts et Manufactures dans l'industrie moderne du chauffage et de la ventilation.** Aperçu sur l'avenir immédiat de cette industrie. (*Conférence faite le 3 mai 1918 au Groupe de Paris de l'Association amicale des Anciens élèves de l'École centrale des Arts et Manufactures*). In-8 (25 × 17) de 27 p. Paris, Masson et Cie, 1918. **Pièce 12 641**

Maillard (Georges). — **Concurrence déloyale.** (*Rapport présenté au nom du Comité national français. Chambre de Commerce internationale. Congrès de Londres, 1921*). In-8 (24 × 16) de 27 p. Paris, 36, rue du Mont-Thabor. **Pièce 12 642**

Giraud (Hubert). — **Exposé sommaire de la situation économique et de ses conséquences pour l'industrie et le commerce.** (*Chambre de Commerce de Marseille*). In-4 (27 × 18) de 25 p. Marseille, Typographie Barlatier, 17-19, rue Venture, 1921. **Pièce 12 643**

Rey (Jean). — **Les vrais profiteurs de la guerre.** — In-8 (24 × 15) de 32 p. Paris, Imp. typographique, 3, rue de Pondichéry, 1920. **Pièce 12 644**

Vacuum Oil Company (Société anonyme française). — **Les paliers et leur graissage.** In-4 (28 × 23) de 32 p., 40 fig. Paris, 34, rue du Louvre. **Pièce 12 645**

FREMONT (CH.). — **Causes d'usure prématurée des rails.** Études expérimentales de technologie industrielle (58e Mémoire). In-4 (27 × 22) de 56 p., 93 fig. Paris, chez l'auteur, 25, rue du Simplon (18e), 1921. **Pièce 12 646**

GOUBEAU (ROGER). — **Le problème de l'assurance contre les risques du crédit.** (*Rapport présenté au 4e Congrès international des Associations d'anciens Élèves des Écoles supérieures de Commerce*). In-4 (27 × 18) de 17 p. Vienne (Isère), *Revue des Comptables*, 16, rue de Bourgogne. **Pièce 12 647**

OFFICE ÉCONOMIQUE DE L'EST. — **Exposition d'économie de combustible, 6-21 août 1921. Catalogue et conférences.** In-4 (27 × 22) de 83 p., fig., V pl. Nancy, 40, rue Gambetta, 1921. **Pièce 12 648**

SOCIÉTÉ DE CHIMIE INDUSTRIELLE. — **1er Meeting de la chimie industrielle.** Résumé des conférences et des communications. (*Bulletin de la Société de chimie industrielle*, no 1, octobre 1921, 22 p.). Paris, 49, rue des Mathurins (8e). **Pièce 12 649**

SOCIÉTÉ DE CHIMIE INDUSTRIELLE. — **Exposition de la chimie** (*7-16 octobre 1921*). Compte rendu. In-4 (27 × 21) de 13 p. (dactylographié). **Pièce 12 650**

ASSOCIATION CENTRALE POUR LA REPRISE DE L'ACTIVITÉ INDUSTRIELLE DANS LES RÉGIONS ENVAHIES. — COMPTOIR CENTRAL D'ACHATS INDUSTRIELS POUR LES RÉGIONS ENVAHIES. — **Statuts.** In-8 (24 × 15) de 48 p. Paris, 40, rue du Colisée (8e). **Pièce 12 651**

* * *

ASSOCIATION PARISIENNE DE PROPRIÉTAIRES D'APPAREILS A VAPEUR. — **Bulletin annuel.** 46e exercice, **1920**. Paris, 66, rue de Rome. **Pér. 33.**

SOCIÉTÉ DES ANCIENS ELÈVES DES ECOLES NATIONALES D'ARTS ET MÉTIERS. — **Annuaire des Sociétaires pour 1921**. Paris, 6, rue Chauchat. **Pér. 136**

INSTITUT POLYTECHNIQUE DE L'UNIVERSITÉ DE GRENOBLE. — **Publication no 96,** octobre 1921 : *L'Institut Polytechnique de l'Université de Grenoble au 15 août 1921*, par L. BARBILLION, 13 p. Grenoble, 1, rue Général-Marchand. **Pér. 331**

CHAMBRE DE COMMERCE DE PARIS. — **Compte rendu des travaux. Année 1920**. Tome I : *Commissions d'études*; Tome II : *Commissions administratives*. Paris, Librairies-Imprimeries réunies, 7, rue Saint-Benoit, 1921. **Pér. 148**

ASSOCIATION FRANÇAISE POUR LA PROTECTION DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE. — **Bulletin.** 2e série, no 14 (**1921**) : *Travaux de l'Association*. Paris, 117, boulevard Saint-Germain, 1921. **Pér. 320**

Bulletin scientifique et industriel de la maison Roure-Bertrand fils, de Grasse. — 4e série, no 4, octobre 1921. **Pér. 179**

UNION DES INDUSTRIES MÉTALLURGIQUES ET MINIÈRES, DE LA CONSTRUCTION MÉCANIQUE, ÉLECTRIQUE ET MÉTALLIQUE ET DES INDUSTRIES QUI S'Y RATTACHENT. — **Annuaire 1921**. Paris, 7, rue de Madrid (8e). **Pér. 86**

INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE. — **Annales.** 2e série, Tome XV. Paris, J.-B. Baillière et fils; Librairie agricole de la Maison rustique, 1921. **Pér. 20**

COLONIE DE MADAGASCAR ET DÉPENDANCES. — **Bulletin économique** publié par les soins du Gouvernement général, 18e année, **1921**, no 2 (2e trimestre). Tananarive, Imp. officielle, 1921. **Pér. 446**

ROYAUME DE BELGIQUE, MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE, DU TRAVAIL ET DU RAVITAILLEMENT. INSPECTION DU TRAVAIL ET DES ÉTABLISSEMENTS DANGEREUX, INSALUBRES ET INCOMMODES. — **Rapports annuels de l'Inspection du Travail.** 21e année, **1920**. Bruxelles, J. Lebègue et Cie; Albert Dewit, 1921. **Pér. 277**

ROYAUME DE BELGIQUE. MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE, DU TRAVAIL ET DU RAVITAILLEMENT. Secrétariat général. — **Statistique des accidents du travail** élaborée d'après les documents fournis en exécution de la loi du 24 décembre 1903 sur la réparation des dom-

mages résultant des accidents du travail. **Année 1910** : *Exposé des résultats*. Bruxelles, J. Lebègue et Cie; Albert Dewit, 1921. **Pér. 277**

Comité des Forges de France. — **Annuaire 1920-1921**. Paris, 7, rue de Madrid (8e). **Pér. 86**

Union des Syndicats de l'Electricité. — **Annuaire 1920**. Paris, 7, rue de Madrid (8e). **Pér. 91**

Chambre syndicale des Constructeurs de Navires et de Machines marines. — **Annuaire 1921-1922**. Paris, 7, rue de Madrid (8e). **Pér. 91**

Institution of naval Architects. — **Transactions**. Vol. LXIII, **1921**. London, 1921. **Pér. 222**

Institution of Civil Engineers. — **Minutes of Proceedings**. Vol. CCVIII, **1918-1919** (Part II). London, 1921. **Pér. 189**

Royal Society. — **Reports of the Grain Pests (War) Committee**. N° 10 (1921). London. **Pér. 41**

Institution of Engineers and Shipbuildebs in Scotland. — **Transactions**. Vol. LXIV, 1920-1921. Glasgow, 1921. **Pér. 5**

American Institute of Mining and Metallurgical Engineers. — **Transactions**. Vol. LXIV. New York, 1921. **Pér. 201**

Smithsonian Miscellaneous Collections. — Vol. 69 (publ. 2654). — Vol. 70 (publ. 2655). — Vol. 71 (publ. 2656). — Vol. 72. n° 11 (publ. 2655). Washington, 1921. **Pér. 27**

Sociedad Cientifica « Antonio Alzate ». — **Memorias y Revista**. Tomo 37, n° 7-12. Mexico, 1921. **Pér. 10**

College of Science. Imperial University of Tôkyô. — **Journal**. Vol. XLI, art. 7, 8, 9, 10, 11. — Vol. XLII, art. 2. — Vol. XLIII, art. 7, 8. Tôkyô, 1921. **Pér. 441**

Bureau of Standards (Washington). — **Scientific Papers**, N° **330** : *The decrease in ultra-violet and total radiation with usage of quartz mercury vapor lamps*. by W. W. Coblentz, M. B. Long and H. Kahler, p. 1-20, 6 fig. (1918). — N° **348** : *Use of a modified Rosenhain furnace for thermal analysis*, by H. Scott and J. R. Freeman, p. 317-323, 5 fig. (1919). — N° **350** : *Equilibrium conditions in the system carbon, iron oxide, and hydrogen in relation to the Ledebur method for determining oxygen in steel*, by J. R. Cain and L. Adler, p. 353-366, 2 fig. (1919). — N° **399** : *Metallographic etching reagents : I, for copper*, by H. S. Rawdon and M. G. Lorentz, p. 641-668, 15 fig. (1920). — N° **401** : *Infra-red transmission and refraction data on standard lens and prism material*, by W. W. Coblentz, p. 701-714, 3 fig. **Bibliography**, p. 713-714 (1920), — N° **402** : *Use of ammonium persulphate for revealing the macrostructure of iron and steel*, by H. S. Rawdon, p. 715-723, 7 fig. (1920). — N° **403** : *Resonance potentials and low-voltage arcs for metals of the second group of the periodic table*, by F. L. Mohler, P. D. Foote and W. F. Meggers, p. 725-737, 3 fig. (1910). — N° **404** : *Magnetic reluctivity relationship as related to certain structures of a eutectoid-carbon steel*, by C. Nusbaum, W. L. Chenney and H. Scott, p. 739-757, 3 fig. (1920). — N° **405** : *A simple portable for the absolute measurement of reflexion and transmission factors*, by A. H. Taylor, p. 1-6, 3 fig. (1920). — N° **406** : *Present status of the constants and verification of the laws of thermal radiation of a uniformly heated inclosure*, by W. W. Coblentz, p. 7-48. **Bibliography**, p. 46-48 (1920). — N° **407** : *Recent modifications in the construction of platinium resistance thermometers*, by T. S. Sligh, p. 49-63, 2 fig. (1921). — N° **408** : *Effect of the rate of cooling on the magnetic and other properties of an annealed eutectoid carbon steel*, by C. Nusbaum and W. L. Cheney, p. 65-78, 11 fig. (1921). — N° **409** : *A new method for the measurement of photographic filter factors*, by R. Davis, p. 79-89, 4 fig. (1921). — N° **410** : *Thermal expansion of copper and some of its important industrial alloys*, by P. Hidnert, p. 91-159, 43 fig. (1921).

Technologic Papers, N° **55** : *Special studies in electrolysis mitigation*, n° 4, by B. Mc.Collum and K. H. Logan, 49 p., 10 fig. (1916). — N° **70** : *Durability of stucco and plaster construction*, by R. J. Wig., J. C. Pearson and W. E. Emley, 74 p., 35 fig. (1917). —

N° **78** : *Properties of the calcium silicates and calcium aluminate occurring in normal Portland cement*, by P. H. Bates and A. A. Klein, 38 p., 21 fig. (1917). — N° **84** : *Failure of brass. 3. — Initial stress produced by the « burning in » of manganese bronze*, by P. D. Merica and C. P. Karr, 7 p., 5 fig. (1916). — N° **90** : *Structure of the coating on tinned sheet copper in relation to a specific case of corrosion*, by P. D. Merica, 18 p., 17 fig. (1917). — N° **92**. *Measurement of specification of the physical factors which determine the saturation of certain tints of yellow*, by I. G. Priest and C. G. Peters, 11 p., 8 fig. (1917). — N° **104** : *Effect of the size of grog in fire-clay bodies*, by F. A. Kirkpatrick, 39 p., 29 fig. (1918). — N° **124** : *Constitution and microstructure of silica brick and changes involved through repeated burnings at high temperatures*, by H. Insley and A. A. Klein, 31 p., 20 fig. (1919). — N° **135** : *Behavior of wrought manganese bronze exposed to corrosion while under tensile stress*, by P. D. Merica and R. W. Woodward, 9 p., 3 fig. (1919). — N° **137** : *Coking of Illinois coal in Koppers type oven*, by R. S. Mc.Bride. and W. A. Selvig, 51 p., 7 fig. (1919). — N° **142** : *Materials and methods used in the manufacture of enameled cast-iron wares*, by H. F. Staley, 158 p., 5 fig. (1919). — N° **145** : *Direct determination of india rubber by the nitrosite method*, by J. B. Tuttle and L. Yurow, 16 p., 1 fig. (1919). — N° **147** : *An apparatus for measuring the relative wear of sole leathers, and the results obtained with leather from different parts of a hide*, by R. W. Hart and R. C. Bowker, 10 p. 9 fig. (1919). — N° **173** : *Tests of bond resistance between concrete and steel*, by W. A. Slater, F. E. Richart and G. G. Scofield, 66 p., 85 fig. (1920). — N° **175** : *Pouring and pressure tests of concrete*, by W. A. Slater and A. T. Goldbeck, 13 p., 4 fig. (1920). — N° **178** : *Steel rails from sink-head and ordinary rail ingots*, by G. K. Burgess, 61 p., 23 fig. (1920), — N° **179** : *Electric-arc welding of steel : I. Properties of the arc-fused metal*, by H. S. Rawdon, E. C. Grœsbeck and L. Jordan, 63 p., 28 fig. **Bibliography**, p. 60-63 (1920). — N° **180** : *Causes and prevention of the formation of non condensible gases in ammonia absorption refrigeration machines*, by E. C. Mc.Kelvy and A. Isaacs, 10 p., 1 fig. (1920). — N° **181** : *Colored wall plaster*, by W. E. Emley and C. F. Faxon, 8 p., I pl. (1920). — N° **182** : *Effect of repeated reversals of stress on double-reinforced concrete beams*, by W. A. Slater, G. A. Smith and H. P. Mueller, 51 p., 33 fig. (1920). — N° **183** : *Notes on small flow meters for air especially orifice meters*, by E. Buckingham, 15 p. (1920). — N° **184** : *Fire tests of building columns*, by S. H. Ingberg, H. K. Griffin, W. C. Robinson, and R. E. Wilson, 375 p., 171 fig. (1921). — N° **185** : *Experiments on copper crusher cylinders*, by A. I. Krynitsky, 32 p., 15 fig. (1921). — N° **186** : *Oscillograph measurements of the instantaneous values of current and voltage in the battery circuit of automobiles*, by G. W. Vinal and C. L. Snyder, 23 p., 28 fig. (1921). — N° **187** : *A study of test methods for the purpose of developing standard specifications for paper bags for cement and lime*, by P. L. Houston, 19 p., 54 fig. (1921). — N° **188** : *Some properties of white metal bearing alloys at elevated temperatures*, by J. R. Freeman and R. W. Woodward, 16 p., 7 fig. (1921). — N° **189** : *Method for differentiating and estimating unbleached sulphite and sulphate pulps in paper*, by R. E. Lofton and M. F. Merritt, 18 p. (1921). — N° **190** : « *Black nickel » plating solutions*, by G. B. Hogaboom, T. F. Slattery and L. B. Ham, 9 p. (1921).

Circulars, N° **5** : *Testing of clinical thermometers* (3d ed.), 19 p. (1917). — N° **26** : *Analyzed iron and manganese ores. — Methods of analysis* (4th ed.), 20 p. (1921). — N° **32** : *Standards for gas service* (4th ed.), 140 p. (1920). — N° **33** : *U. S. Government specification for Portland cement* (3d ed.), 43 p., 10 fig. (1917). — N° **41** : *Testing of textile materials* (3d ed), 15 p., 7 fig. (1918). — N° **43** : *Jewelers' and silversmiths' weights and measures* (2d ed.), 46 p., 3 fig. (1921). — N° **47** : *Units of weight and measure. Definitions and tables and equivalents*, 68 p. (1914). — N° **49** : *Safety rules to be observed in the operation of electrical equipment and lines* (2d ed.), 50 p. (1915). — N° **51** : *Measurement of time and tests of timepieces*, 39 p., 7 fig. (1914). — N° **53** : *The composition, properties, and testing of printing inks*, 35 p. **Bibliography**, p. 34-35 (1915). — N° **77** : *Table of unit displacement of commodities*, 67 p. (1919). — N° **82** : *Recommended specification for linseed oil. — Raw, refi-*

ned, and boiled, 9 p. (1919). — N° **84** : *Recommended specification for basic carbonate white ead, dry and paste*, 10 p. (1919). — N° **99** : *Carbonization of lubricating oils*, 44 p., 5 fig. 1920). — N° **100** : *Nickel*, 106 p., 26 fig. **Bibliography**, p. 94-106 (1921). — N° **101** : *Physical properties of materials : I. Strengths and related properties of metals and certain other engineering materials*, 52 p. (1921). — N° **106** : *Lime — Definitions and specifications*, 15 p. (1920). — N° **107** : *The testing of paper*, 37 p., 18 fig. (1921). — N° **108** : *Gypsum — Properties, definitions and uses*, 21 p. (1921). — N° **109** : *Sand-Lime brick — Description and specification*, 9 p., 2 fig. (1921). — N° **110** : *Specifications for marine sextants*, 8 p. (1921). — N° **111** : *Recommended specification for flat interior lithopone paint, white and light tints*, 8 p. (1921).

Miscellaneous Publications; n° **43** : *Weights and Measures* (30*th* Annual Conference, 1920), 200 p. (1920). — N° **45** : *Buying Commodities by Weight and Measure*, 42 p., 13 fig. (1920). — N° **46** : *War Work of the Bureau of Standards*, 299 p., 34 fig. (1921). **Pér. 61**

L'agent général, gérant,
E. LEMAIRE.

Coulommiers. — Imp. PAUL BRODARD.

BULLETIN

DE

LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT

POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

LES APPAREILS MODERNES DESTINÉS AU CONTROLE DE LA COMBUSTION ET DE LA VAPORISATION (1)

Description des appareils qui ont figuré à l'Exposition internationale de l'Office central de Chauffe rationnelle.

(Paris, 12-26 mars 1921.)

On se préoccupait généralement fort peu en France, il y a quelques années, du contrôle de la combustion; les chaufferies étaient abandonnées à la routine des ouvriers. La pénurie croissante de charbon et le prix élevé de tous les combustibles ont eu raison de l'inertie et les appareils destinés à contrôler et guider le travail des chauffeurs ont été soudainement mis en lumière, bien que beaucoup d'entre eux existassent depuis longtemps déjà. L'Office central de Chauffe rationnelle (2) (O. C. C. R.), dont le but est de pousser les industriels français aux économies de combustibles, a eu l'idée de grouper en exposition, sous le haut patronage de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale et de la Société des Ingénieurs civils de France, tous les appareils, français et étrangers, destinés au contrôle de la combustion et de la vaporisation. Cette exposition devait avoir l'heureux résultat de faire sentir à tous la nécessité d'un contrôle, de faire connaître les constructeurs étrangers et leurs travaux, non seulement aux industriels

(1) Voir dans le *Bulletin* de juin 1921, p. 553-575, le texte de la conférence faite à la Société d'Encouragement le 5 mars 1921, par M. Paul FRION, directeur de l'Office central de Chauffe rationnelle, sur *Le contrôle de la chauffe, les appareils de mesure servant à ce contrôle.*

(2) Siège social, 5, rue Michel-Ange, Paris (16e).

mais aussi aux constructeurs français, d'autant moins nombreux et perfectionnés que le contrôle de la chauffe était presque inconnu en France, alors qu'il était très en honneur chez nos voisins.

La plupart des constructeurs se sont présentés à cette exposition et l'on a pu voir en marche presque tous les appareils existant actuellement dans l'industrie.

Nous nous proposons, dans ce qui suit, de donner une vue d'ensemble et des détails sur ce que beaucoup ont peut-être vu trop rapidement et de faire le catalogue descriptif de tous les appareils exposés.

Nous examinerons successivement :

les analyseurs, continus ou non;

les thermomètres et pyromètres;

les manomètres indicateurs de tirage, déprimomètres et débitmètres;

les compteurs : de vapeur, d'eau, de charbon;

les appareils analyseurs de combustibles et d'eaux d'alimentation.

I. — LES ANALYSEURS DE GAZ

L'analyse des gaz combustibles et des gaz résiduels se fait au laboratoire au moyen d'appareils aussi ingénieux que variés. Pour l'industrie, il a fallu simplifier; aussi les appareils employés peuvent être répartis en deux grandes classes, selon qu'ils servent à un contrôle intermittent ou à un contrôle permanent, de beaucoup supérieur, bien qu'il n'exclue pas l'autre.

1° Analyseurs d'essais.

Ils nécessitent l'intervention d'un opérateur et, comme ils sont assez connus, nous les décrirons brièvement.

Appareils d'Orsat. — L'appareil d'Orsat est l'appareil classique destiné à l'analyse des gaz industriels; il est d'un maniement très commode et a subi depuis quelques années de continuels perfectionnements. Le modèle le plus usité en France, est celui d'*Orsat Salleron* (fig. 1) qui se compose : d'un mesureur gradué, en verre, recouvert par une chemise d'eau destinée à maintenir la température constante, avant et après absorption; d'un flacon mobile relié au mesureur qui, en s'élevant et s'abaissant, peut transformer le mesureur en aspirateur; d'une rampe en verre qui relie le mesureur à trois flacons laboratoires munis de robinets. Les flacons laboratoires sont des Woolf à deux tubulures surmontés d'allonges remplies : les unes de tubes de verre, destinées à augmenter la surface de contact, et l'autre de toile de cuivre rouge. L'appareil Salleron est muni d'un soufflet destiné à créer une circulation dans le tuyau de prise

de gaz. Certains autres modèles comportent une pompe pneumatique en métal; celui de l'O. C. C. R. est muni d'une poire de caoutchouc et d'un filtre à fumées.

L'appareil du type Salleron est, en effet, plus robuste et plus facilement transportable que les autres et c'est lui qui convient le mieux pour les ingénieurs de chauffage sans cesse en déplacement. L'Office de Chauffe l'a modifié pour le rendre plus léger et moins encombrant, tout en lui laissant son exactitude.

Le *système à trois laboratoires* ne permet naturellement de doser que CO^2, O et CO; quand on veut faire l'analyse complète des gaz combustibles, il est nécessaire d'adjoindre un eudiomètre muni de tous ses accessoires. C'est le principe de l'appareil Orsat modifié par *Vignon*. Il est très connu et nous ne le décrirons pas.

C'est aussi à ce modèle que s'est arrêté l'O. C. C. R., pour le contrôle des usines : la boîte a été considérablement simplifiée et allégée; la rampe en verre, très fragile, a été remplacée par une série de T et de tronçons de tubes reliés par des joints de caoutchouc; l'eudiomètre, placé sur la même ligne que les laboratoires a été relié électriquement à la bobine d'induction et tient très peu de place, enfin, il a été doublé par un *tube de combustion* en quartz renfermant soit un fil de palladium, soit un fil de platine. Avec ce dispositif, l'analyse des gaz combustibles peut être faite dans les meilleures conditions. En se servant seulement de l'eudiomètre, on peut déterminer la contraction correspondant à la combustion de l'hydrogène et du méthane. La teneur en méthane est ensuite déterminée par absorption du CO^2 formé.

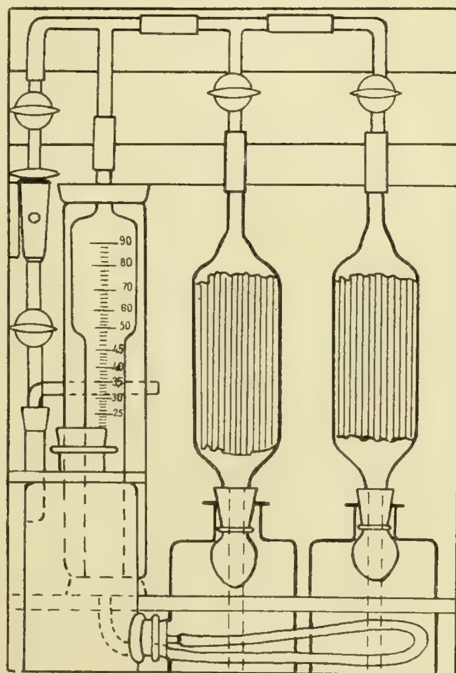


Fig. 1. — Appareil Orsat-Salleron à deux cloches.

Pour plus de précision, il est préférable d'opérer la combustion en deux temps : sur le fil de platine ou de palladium chauffé à 400° par une lampe à alcool, on produit la combustion de l'hydrogène, puis, dans l'eudiomètre, la combustion des hydrocarbures.

Un nouveau modèle est à l'étude qui permettra, par chauffage électrique du fil de palladium ou de platine, de faire la combustion des gaz combustibles en un ou deux temps, soit l'hydrogène après addition d'air, les hydrocarbures après

addition d'oxygène. Ce procédé rendra de très grands services quand la proportion de gaz combustible est faible.

L'appareil *Orsat-Lunge*, dont un modèle était exposé par les Etablissements Poulenc, comprend également cet intéressant dispositif de combustion. Les laboratoires : allonge et flacon, sont remplacés par des vases à absorption formés chacun de deux cylindres en verre réunis entre eux au moyen d'un tube en U.

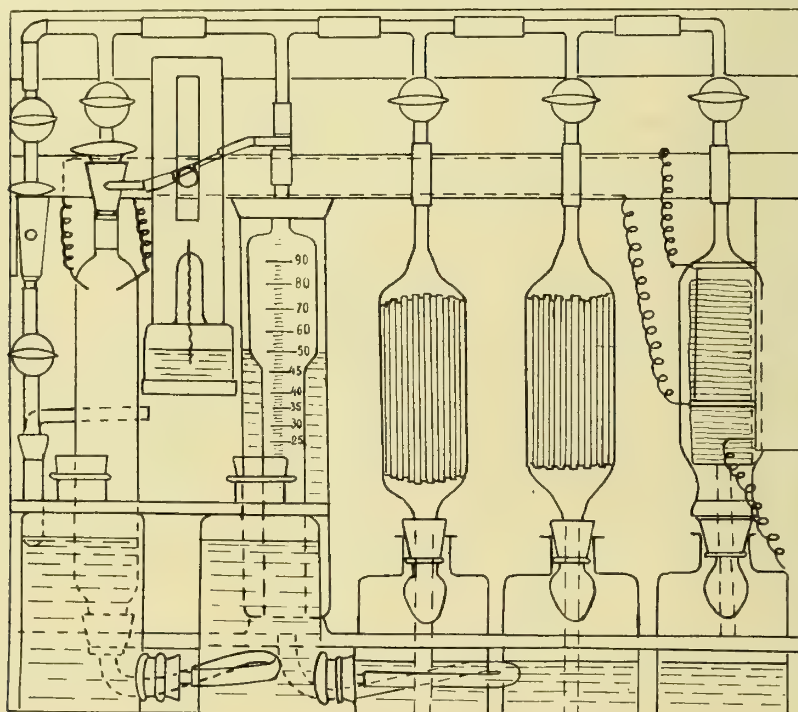


Fig. 2. — Appareil Orsat complet, modèle de l'O. C. C. R.

L'un des deux cylindres est rempli par un faisceau de tubes de verre et par l'agent absorbant. Les tubes de verre placés dans le chlorure cuivreux possèdent en outre des spirales de fils de cuivre destinés à réduire le chlorure cuivrique auquel le contact de l'air donne peu à peu naissance (c'est le rôle que joue le rouleau de toile de cuivre dans les autres appareils). Les cylindres réservoirs, soudés aux cylindres absorbeurs, sont munis de vessies en caoutchouc destinées à rendre impossible l'accès de l'air.

Un très intéressant modèle d'appareil Orsat industriel, assez analogue à ceux que nous venons de décrire, était présenté par *MM. Kater et Ankersmit.*

Il existe actuellement des appareils qui, au lieu d'employer le simple contact en surface avec le réactif, utilisent le barbotage, plus ou moins retardé, par des

dispositifs émulseurs analogues aux *tubes de Maquenne*. La plupart de ces appareils rendent nécessaires des robinets à trois voies ou des soupapes. Dans un appareil de ce genre (fig. 4), la soupape est constituée par une boule creuse en verre qui, lorsqu'il y a refoulement de gaz, se colle contre le tube inférieur dans la position *b*; le gaz est donc repoussé dans le barboteur B. A l'aspiration, le gaz contenu en C remonte en faisant sauter la soupape qui, lorsque le niveau du liquide arrive en *b*, surnage et vient fermer la tubulure supérieure en *b*'. Avec ce dispositif il est donc très facile de ramener le liquide au point de repère sans le dépasser et en réduisant beaucoup le tube *a* qui comporte un assez grand espace mort.

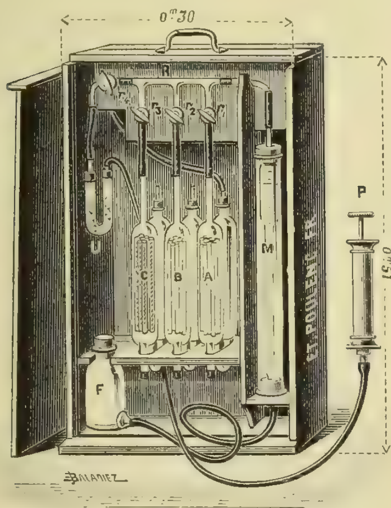


Fig. 3. — Appareil Orsat-Lunge, modèle Poulenc.

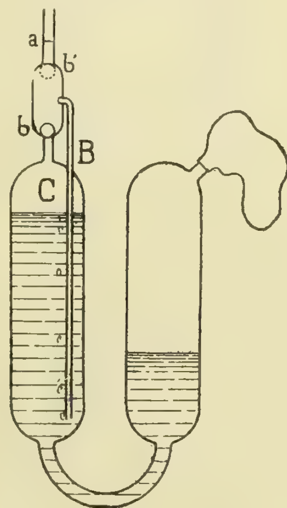


Fig. 4. — Élément barboteur à soupape automatique.

Le barbotage est beaucoup plus efficace avec la *spirale à émulsion* que possède par exemple l'*appareil Heinz* dont la figure 5 représente un élément et qui ne figurait pas à l'Exposition.

La firme anglaise *Alexander Wright*, qui construit toute la série des analyseurs, automatiques ou non, présentait deux petits modèles d'appareils Orsat extrêmement réduits bien que de volumes intérieurs suffisants. Les laboratoires sont constitués par deux tubes concentriques et celui qui se trouve au centre renferme les tubes destinés à augmenter la surface d'absorption. La rampe est circulaire et l'ensemble des laboratoires et du mesureur forme un tout petit appareil de faible diamètre porté sur un socle métallique et qu'une cloche cylindrique en tôle vernie peut recouvrir et protéger complètement.

Doseur d'acide carbonique Van Houtte avec échantillonneur automatique. — Cet appareil se compose : d'un mesureur en verre entouré d'une gaine métal-

lique suffisamment échancrée pour permettre d'apercevoir la graduation; d'un réservoir de lessive alcaline L, contenant une cloche K; d'une série de robinets E, F, G, permettant de mettre le mesureur en contact avec le réservoir de gaz à analyser, avec le récipient absorbeur et avec l'atmosphère; d'une poire en caoutchouc remplie d'eau et destinée à jouer le même rôle que le flacon mobile de l'appareil Orsat.

Il comporte accessoirement un échantillonneur automatique (fig. 8) composé de deux flacons superposés A et B, d'un réservoir R et de 3 robinets. Le flacon A est rempli d'eau et, par le robinet D, mis en communication avec le carneau des fumées. L'écoulement de l'eau en B par le robinet C produit une aspiration de gaz. Ce gaz, après mise en communication du robinet D

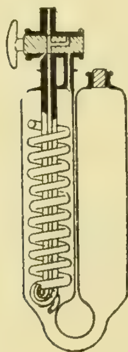


Fig. 5. — Élément barboteur à tube hélicoïdal.

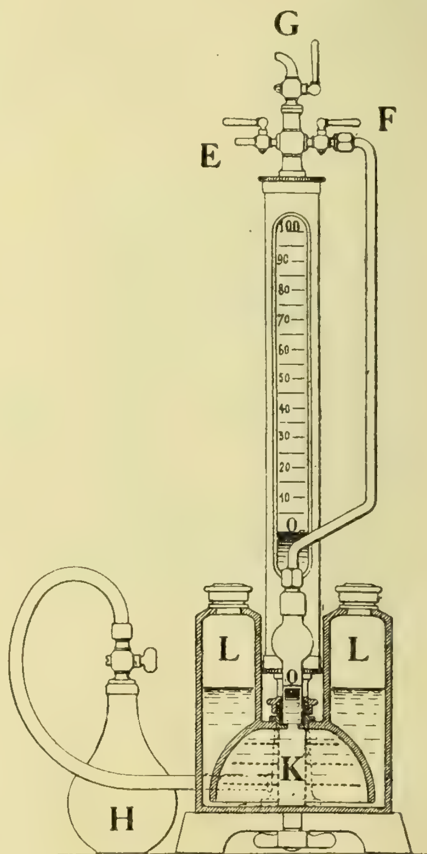


Fig. 6. — Coupe de l'analyseur Van Houtte.

avec E, est aspiré dans le mesureur préalablement rempli d'eau jusqu'au degré 100. L'eau du réservoir R remplace, dans le récipient A, le gaz qui doit servir à l'analyse.

On conduit l'analyse de la manière suivante : le niveau de l'eau dans le mesureur se trouvant au degré 100, on ouvre le robinet E pour aspirer le volume de gaz à analyser et, en arrivant au 0, on règle le niveau au moyen du robinet de H. On ferme E et l'on ouvre F pour refouler le gaz mesuré, jusqu'au niveau 100, dans la cloche K contenant la lessive de potasse. La lecture du pourcentage de CO^2 est faite directement sur le mesureur après mouvement d'aspiration de la poire H.

Le thermoscope, présenté par l'*Underfeed Stoker* (fig. 9), est un très petit appareil analyseur métallique que l'on peut, au besoin, emporter dans la poche. Il se compose :

1° D'un corps de pompe A avec piston S destiné à aspirer un échantillon de gaz de volume déterminé et le refouler ensuite à travers une cartouche absorbante G;

2° D'une cartouche G contenant de la soude caustique pulvérisée dans laquelle s'effectue l'absorption;

3° D'un thermomètre B dont la cuvette F

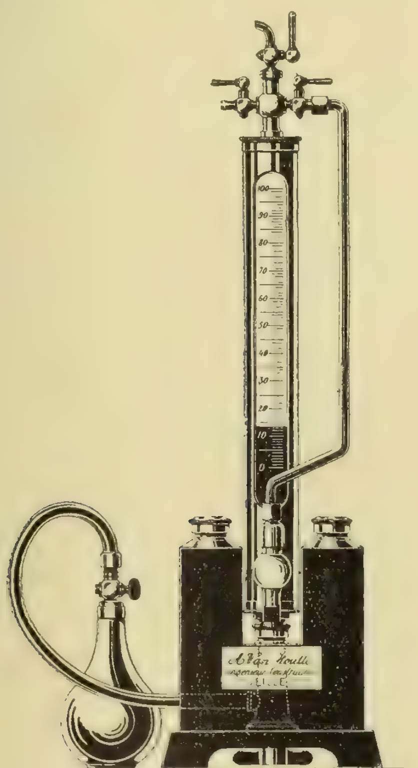


Fig. 7. — Analyseur Van Houtte, vue extérieure.

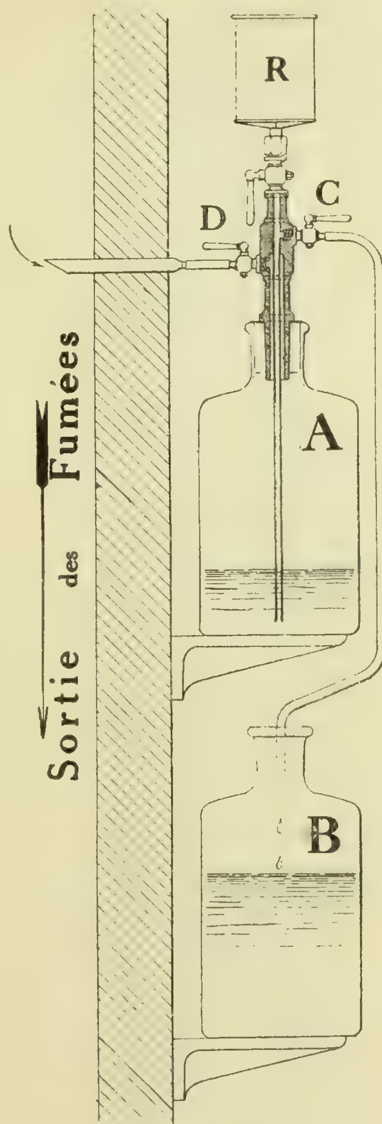


Fig. 8. — Dispositif échantillonneur.

entoure la cartouche et qui indique le dégagement de chaleur produit par l'absorption de CO^2. Une échelle mobile E, placée contre le thermomètre, évalue les déplacements du ménisque de mercure en teneur pour 100 de CO^2;

4° D'un thermomètre T indiquant la température ambiante et destiné à faire la correction de température sur le volume de gaz aspiré;

5° D'un robinet à trois voies I muni d'un tube de caoutchouc K et qui peremt

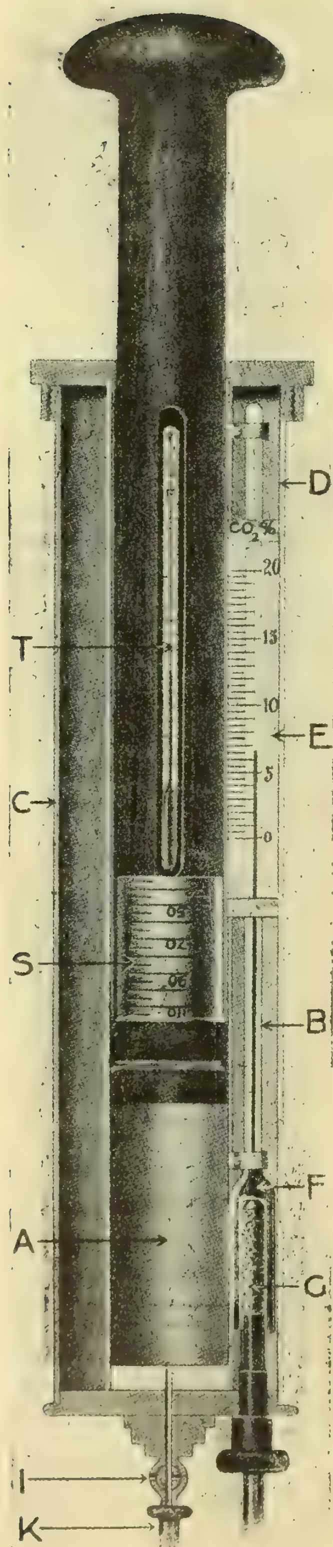


Fig. 9. — Thermoscope Usco.

l'aspiration du gaz dans le carneau, l'évacuation de l'excès pour la correction de température, le refoulement de l'échantillon à travers l'absorbeur.

Pour faire une analyse, on aspire par K un échantillon de gaz, on lit la température du thermomètre T, on corrige en plaçant le piston au degré correspondant à la température lue et l'on possède alors le volume de gaz prévu pour la graduation du thermomètre. On manœuvre le robinet I pour le mettre en communication avec le tube K, on perce une cartouche, on la fixe sur le caoutchouc, on l'introduit dans la cuvette F et l'on pousse lentement le piston. Le 0 de l'échelle E ayant été préalablement placé au niveau du mercure, l'élévation de température indique la teneur en CO^2.

2° Analyseurs automatiques de CO^2.

Tous les appareils que nous venons de décrire sont les appareils industriels qui, comme les burettes de laboratoire genre Bunte, Hempel, etc., servent à contrôler d'une façon discontinue, par les soins d'un opérateur, les teneurs des résidus de combustion en CO^2 principalement; dans l'industrie, l'établissement du bilan thermique, le calcul des excès d'air et des rendements nécessitent un contrôle continu et il existe pour cela toute une série d'appareils très ingénieux, presque tous représentés à l'Exposition de l'Office de Chauffe. Nous décrirons en détail ceux que l'on trouve le plus fréquemment dans l'industrie et que l'on a pu voir fonctionner très régulièrement.

Les appareils analyseurs continus de CO^2, enregistreurs ou indicateurs, sont généralement basés sur les propriétés physiques ou chimiques des gaz.

Les propriétés physiques, pouvant être déterminées sans le secours continuel d'un opérateur, sont :

1° *Les densités*, au moyen de balances et densimètres à gaz;

2° *Les coefficients de transmission de chaleur*;

3° *Les indices de réfraction*;

4° *Les viscosités.*

La propriété chimique de CO^2 généralement employée est l'affinité très grande de ce gaz acide pour les absorbants alcalins. L'analyse par absorption peut être faite :

I. — Par mesure directe des variations de volume, avant et après absorption, comme cela se fait avec l'appareil Orsat. On peut appeler cette méthode le *mesurage volumétrique* (1);

II. — Par mesure des différences de pression avant et après absorption (*mesurage manométrique*);

III. — Par mesure de l'élévation de température du réactif absorbant (*mesurage calorimétrique*);

IV. — Par mesure de la résistance électrique du réactif (*mesurage électrique*).

A. — Analyseurs automatiques basés sur les propriétés physiques des gaz plus ou moins chargés de CO^2.

1° *Mesure directe des densités* (2). — La densité augmentant avec la teneur en CO^2, il est possible de déterminer cette teneur par pesée directe dans des balances à gaz : économètre de Arndt, balance à gaz de Custodis, dasymètre de Siégert et Dürr, balance de Lux, etc. Dans l'appareil de Krell Schultze, à enregistreur photographique, il y a deux colonnes gazeuses, l'une d'air, l'autre à teneur de CO^2, dont les différences de densités sont mesurées par un micromanomètre très sensible.

2° *Les coefficients de transmission de chaleur* sont mesurés électriquement au moyen d'un ingénieux appareil (fig. 10) de la *Cambridge and Paul Instrument C°*, présenté à l'exposition de l'O. C. C. R. L'organe sensible de cet appareil consiste en deux spires de fil de platine identiques, placées dans deux logements séparés, ménagés dans un bloc de métal, chacune de ces spires constituant une branche de circuit d'un *pont de Wheatstone.* Quand on fait passer un courant électrique dans ces deux spires, elles s'échauffent et perdent de la chaleur, d'une façon égale, si elles sont plongées dans des gaz identiques, mais d'une façon inégale si elles plongent dans des gaz de conductibilités différentes. Cette différence de

(1) Voir Izart, *Revue de Mécanique*, 1912; *Chaleur et Industrie*, n° 7, octobre 1920, p. 439 à 450.

(2) Voir Izart, *Les appareils de contrôle et de mesure* (Dunod et Pinat, 1913) et la *Revue de Mécanique*, 1912.

Rousset et Chaplet, *Le contrôle chimique de la combustion* (Gauthier-Villars, 1909).

température des deux fils produira une déviation du galvanomètre monté sur le pont de Wheatstone. L'amplitude de cette déviation dépendra de la différence de conductibilité thermique des deux gaz en présence. Cette méthode est très sensible et a été employée pour la première fois par le *Dr G. A. Shakespear*, de l'Université de Birmingham, pour l'essai de la pureté des gaz; appliquée à l'essai de la pureté de l'hydrogène pour ballons, elle a donné d'excellents résultats.

Dans l'appareil industriel de la Cambridge, l'un des logements contient de l'air pur et est scellé; mais il communique avec un petit tuyau fermé contenant du coton imbibé d'eau pour que l'air y soit toujours saturé. Le second logement présente un orifice dirigé vers le courant de gaz du carneau et est muni d'un filtre à suie

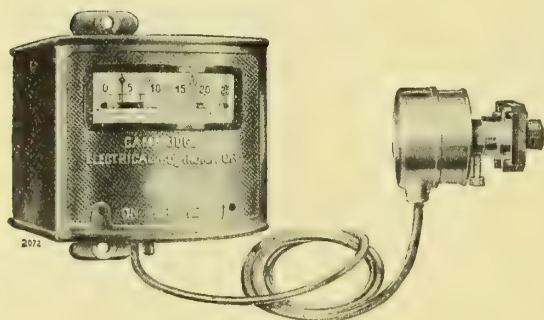


Fig. 10. — Analyseur de CO^2 de la Cambridge and Paul Instrument Cy.

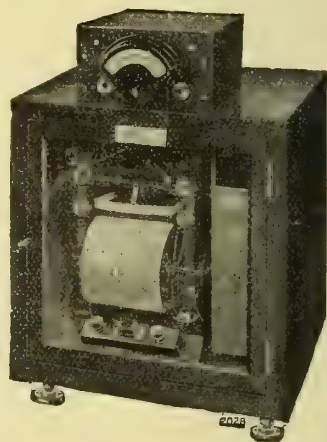


Fig. 11. — Galvanomètre enregistreur Cambridge.

à coton de verre. Les extrémités des deux spires de platine sont reliées aux bornes, qui se trouvent dans la tête en aluminium du compteur. Celle-ci est fermée et contient aussi les bobines du pont de Wheatstone. Les bornes sont connectées à l'indicateur au moyen d'un câble à 4 directions. Les fumées des carneaux sont principalement composées d'azote et d'acide carbonique mélangés de petites quantités d'oxygène et de vapeur d'eau et parfois de CO. Comme ces gaz CO, O et Az ont à peu près la même conductibilité thermique, les petites variations des deux premiers gaz n'affectent pas les lectures et l'action de la vapeur d'eau peut être neutralisée en maintenant saturés les gaz contenus dans les deux logements. La différence de conductibilité des gaz qui se trouvent dans les deux logements dépend donc seulement du pourcentage d'acide carbonique des gaz du carneau.

Cet appareil est toutefois inutilisable pour évaluation du CO^2 contenu dans les mélanges de gaz combustibles renfermant des hydrocarbures.

L'*indicateur* est un galvanomètre à aiguille du système *à deux pivots*. Placé dans une boîte métallique, il peut être monté sur un support mural. En agissant sur le devant de la boîte de l'appareil, on peut compenser les variations de voltage de la batterie d'accumulateurs.

Le *galvanomètre enregistreur* (fig. 11), qui peut doubler l'indicateur, comprend essentiellement une bobine suspendue ou pivotante, dont l'aiguille est abaissée toute les minutes par un mouvement d'horlogerie sur un fil imprégné d'encre. En

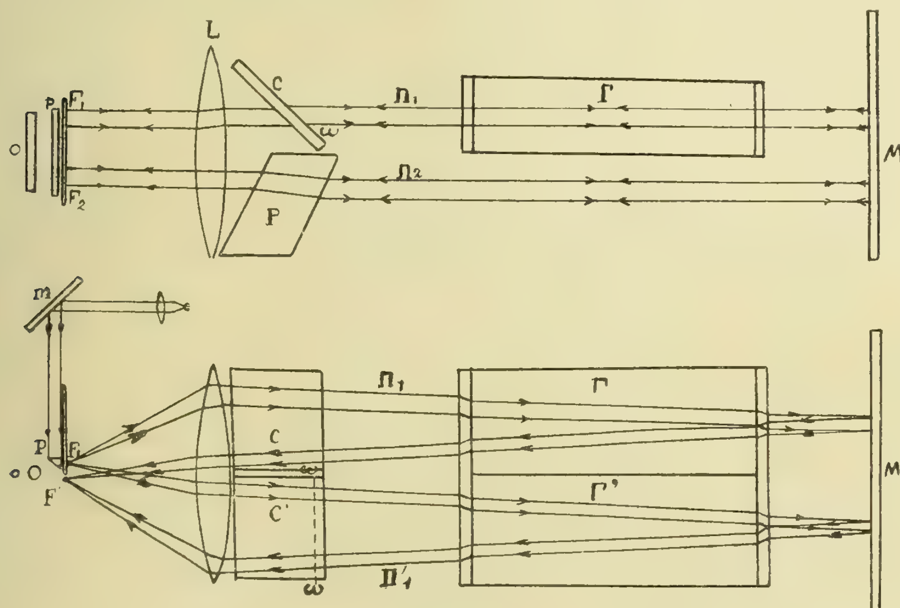


Fig. 12. — Schéma du réfractomètre de lord Rayleigh.

s'abaissant, l'aiguille appuie le fil contre la feuille et laisse une marque qui enregistre la position de l'aiguille.

Un galvanomètre enregistreur peut donner alternativement des points de diagramme pour deux éléments sensibles; les fils encreurs sont imprégnés l'un d'encre rouge, l'autre d'encre noire. Un mécanisme amène automatiquement, à tour de rôle, chacun des deux fils sous l'aiguille du galvanomètre et met en circuit l'analyseur correspondant au fil.

Ce galvanomètre enregistreur, de construction assez compliquée, peut être placé à l'abri des chocs, dans un bureau, par exemple, à une distance assez grande des éléments sensibles, ce qui facilite le contrôle à distance. Il suffit d'installer, dans l'usine, le galvanomètre indicateur.

L'appareil avec indicateur paraît pouvoir être employé sur les locomotives et dans la marine.

3° *Mesure des indices de réfraction.* — Le réfractomètre de lord Rayleigh (1), qui appartient à cette catégorie, ne figurait pas à l'Exposition. On sait qu'il est basé sur le principe suivant : on fait interférer, à travers une même fente, deux pinceaux lumineux traversant : l'un une cuve remplie du gaz à essayer, l'autre une cuve semblable pleine d'air. Les franges d'interférence se déplacent et la différence d'indice de réfraction entre le gaz et l'air peut être donnée par la mesure de ce déplacement.

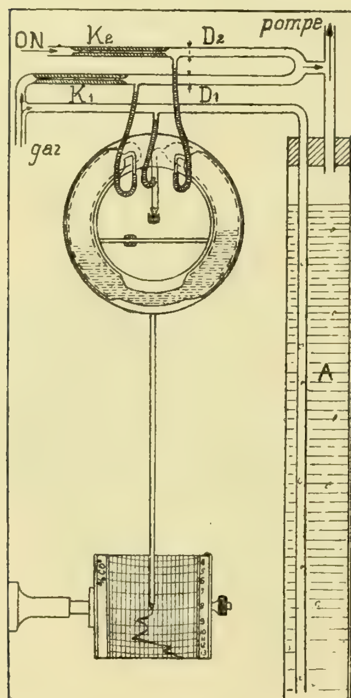


Fig. 13. — Unographe de Dommer.

La figure 12 représente en coupe verticale et en coupe horizontale le dispositif employé.

4° *Analyse par variations de la viscosité.* — L'*unographe*, du Dr Dommer (fig. 13), présenté par M. Izart, fait partie de cette catégorie (2). Il se compose d'une trompe à eau aspirant à travers deux orifices calibrés et deux tubes capillaires placés dans des dispositifs destinés à uniformiser les températures, d'un côté de l'air, de l'autre des fumées préalablement filtrées dans un filtre très efficace. La perte de charge ou résistance d'écoulement dépend du poids spécifique dans le cas du diaphragme, de la viscosité de ces gaz dans le cas du capillaire; les deux effets s'ajoutent pour aboutir à une différence de pressions aisément mesurable avec un manomètre sensible.

La différence des pressions mesurées est proportionnelle à la différence de densité et de viscosité des gaz comparés et le micromanomètre mesure ainsi directement la proportion de CO^2.

Le *manomètre différentiel* est constitué par un tube de forme circulaire monté en balance sur un grain d'acier trempé; il est sensible au centième de millimètre d'eau. Quand il se produit une différence de pression, il y a dénivellation proportionnelle du niveau de liquide dans les deux branches et l'aiguille de l'enregistreur se déplace pour ramener l'équilibre. Cet appareil donne donc une ligne continue très facile à planimétrer.

(1) PONCHON, *Analyse industrielle des mélanges gazeux par la méthode réfractométrique. Chimie et Industrie*, 1919, juin, p. 647.
(2) IZART, *Chaleur et Industrie*, n° 7, octobre, 1920, p. 433 à 436.

B. — Analyseurs automatiques à absorption.

1° *Mesure directe des variations de volume.* — La mesure directe des variations de volume à la pression atmosphérique peut se faire par des cloches ou tubes gradués équilibrés ou par compteurs différentiels.

C'est dans le premier groupe qu'il convient de classer la plupart des modèles à commande hydraulique : Ados, Hallwachs, Simmance et Abady, Baillet, Van Houtte, Eckardt, Sarco, Monopol, etc., le système *Mono*, à commande pneumatique, les appareils *Vestover, Brenot-Poulenc, Pal,* à commande mécanique.

Le groupe des enregistreurs volumétriques à compteurs différentiels comprend comme modèles principaux : l'appareil *Craig* et le *Pintsch Bayer.*

Appareils Ados. — Le plus ancien modèle d'analyseur automatique à mesurage direct, avant et après absorption, a été construit par *M. Arndt* d'Aix-la-Chapelle. Il a subi depuis plusieurs modifications intéressantes qui lui permettent d'égaler ses concurrents, la plupart inspirés de lui.

Deux appareils de ce modèle figuraient àl'Exposition, présentés par l'*Office technique et industriel du Centre* à Clermont-Ferrand.

Nous rappellerons brièvement le fonctionnement de cet appareil (fig. 14). Dans une boîte métallique N, on fait arriver de l'eau en quantité suffisante pour alimenter un aspirateur de gaz T, le robinet H commandant le siphon intermittent et le trop-plein *a*, tube de verre destiné à regarder si l'eau coule assez abondamment. Le gaz arrivant en A est aspiré par la trompe à travers le flacon soupape D rempli de glycérine; il passe par un barboteur plongeant de 1 cm et est évacué par la trompe.

Quand le mesureur M gradué est vide d'eau, un bouchon liquide restant seulement dans le siphon *m*, la circulation G, M, K, L, T est beaucoup plus facile que la circulation G, D, T dans laquelle se trouve 1 cm de glycérine de résistance. Le mesureur M se trouve donc continuellement balayé par du gaz neuf.

La quantité d'eau introduite dans le siphon et réglée par le robinet O remplit peu à peu le réservoir R et communique la pression, par l'intermédiaire d'une couche d'air, à de l'eau distillée saturée de CO^2 contenue dans le réservoir R'. Cette eau du réservoir F' se maintenant à la même pression que celle du siphon O monte dans le mesureur, bouche les deux tubes M et L par lesquels se faisait la circulation de gaz; le gaz repasse alors par le flacon soupape D; le gaz situé au-dessous du O du mesureur est refoulé dans le ballon de caoutchouc F et celui qui se trouve au-dessus du O, qui représente exactement l'échantillon à analyser, est refoulé dans le réservoir de potasse P où se fait en surface l'absorption de CO^2. Les gaz résiduels, comprimés par la pression d'eau, refoulent la potasse dans le vase C où se trouve un flotteur dont la position est réglée pour qu'il s'élève avec

la potasse à une hauteur proportionnelle à la quantité de gaz résiduels de 80 à 100 p. 100. Ce flotteur actionnant le mécanisme inscripteur, la teneur en CO^2 est lue par différence sur le graphique.

Le dispositif H est un trop-plein manométrique destiné à maintenir constante au O le niveau de la potasse du réservoir.

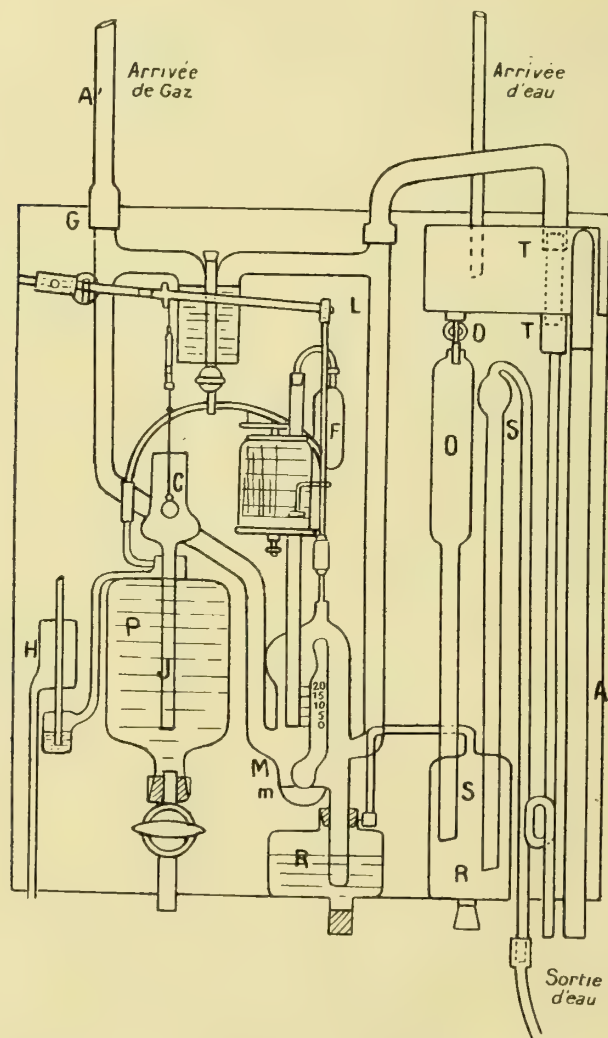


Fig. 14. — Appareil Ados simple.

L'appareil Ados n'est pas toujours actionné hydrauliquement; il peut aussi être mû par un mécanisme dynamique commandé par la dépression de la cheminée. Deux cloches mobiles subissent un mouvement ascendant ou descendant suivant qu'elles sont en communication avec la cheminée ou que cette communication est interrompue.

Il peut aussi être *actionné électriquement* et l'aspiration des gaz obtenue par clapets hydrauliques. Ce moyen est employé pour des appareils groupés par 4 à 6 dans la même armoire; un seul moteur conduit toute la série.

Il existe des appareils Ados pour doser d'autres gaz que le CO^2; entre autres un *appareil double pour doser à la fois CO^2 et O.*

Un même système aspirateur alimente à la fois deux mesureurs, et les deux échantillons sont envoyés l'un sur de la potasse, l'autre sur du phosphore. Les deux diagrammes obtenus simultanément donnent l'un l'acide carbonique, l'autre l'oxygène.

L'appareil Ados, destiné au *dosage de SO^2*, est en tous points semblable aux précédents; seul le réactif diffère. L'absorption se fait dans le réactif iodique et le liquide neutre du réservoir R' est constitué par un mélange de pétrole et d'huile de paraffine.

Pour le contrôle des gaz de gazogènes, l'analyse de CO^2 est à peu près suffisante pour que l'on puisse se rendre compte exactement de l'allure du générateur, surtout si l'on connaît constamment la température. La seule précaution à prendre, pour l'analyse continue de ces gaz, c'est de filtrer convenablement pour retenir tous les hydrocarbures condensables. Un filtre spécial et un régulateur de pression sont prévus pour ce genre d'analyses.

Ces appareils, entièrement construits en verre, sont sans doute très fragiles et demandent des précautions spéciales pendant le voyage; mais, une fois montés et mis en place, ils n'ont plus rien à craindre et nécessitent un entretien minimum. Ils ont par contre l'avantage de permettre un contrôle facile de leur fonctionnement.

Appareil Aci. — Pour rendre possible l'analyse des gaz dans les milieux souvent exposés aux chocs : ateliers de métallurgie, locomotives, etc., M. Arndt, directeur technique de la firme Gefko, à Cologne, a livré à l'industrie un appareil complètement protégé par une armature en fonte et simplifié. Le mesureur étant placé très près du vase absorbeur, cela évite plusieurs tubulures gênantes.

Appareil Hallwachs. — Cet appareil, connu en Allemagne sous le nom d'*Ekonograph* et construit par *MM. Bronne et Garric*, ne figurait pas à l'Exposition; nous le décrirons néanmoins très rapidement (fig. 15).

En installant une conduite dont les deux extrémités aboutissent en des points du carneau des fumées de dépressions différentes, on peut créer une circulation gazeuse qui a l'avantage de ne pas nécessiter de dépense d'eau; ces gaz circulent en G et peuvent être prélevés par le tube L. Comme dans l'appareil Ados, le siphon intermittent transmet ses pressions et dépressions à un liquide neutre situé en R'.

Quand ce liquide monte, il ferme l'admission de gaz et refoule par la soupape N l'excédent contenu en H puis, par le barboteur B, le volume gazeux du mesureur M. Les gaz résiduels laissés par l'absorption font monter la cloche C qui inscrit sur le diagramme, sous forme de ligne droite, la teneur de gaz résiduel de 80 à 100 p. 100. La teneur en CO^2 est lue par différence.

Appareil Sarco (1). — L'appareil Sarco (fig. 16), vendu par *MM. Kater et Ankersmit*, est lui aussi très voisin de l'Hallwachs et de l'Ados. Il comporte deux cloches pour le mesurage des gaz résiduels; la plus grande est réglée de telle manière que l'autre, directement reliée à l'enregistreur, reçoive les derniers pour-cents de gaz résiduels depuis 80 p. 100. Il est construit entièrement en verre mais est très facilement démontable.

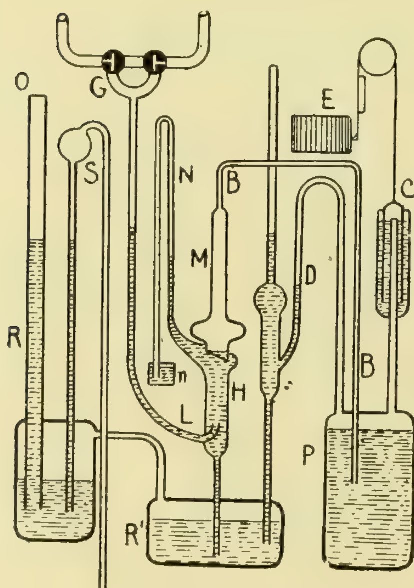


Fig. 15. — Schéma de l'appareil Hallwachs.

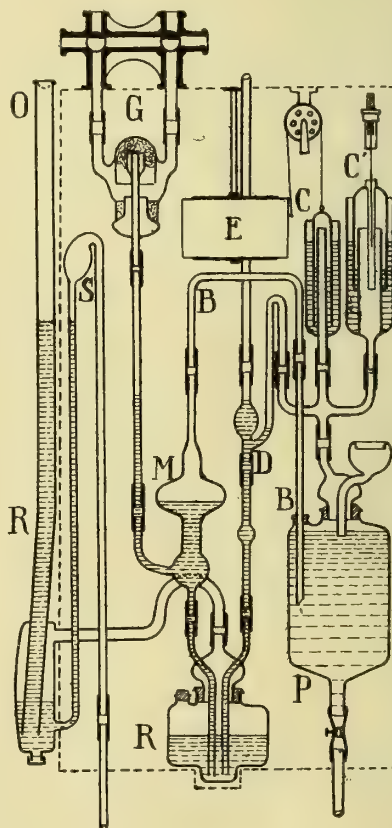


Fig. 16. — Analyseur automatique Sarco.

Appareil Eckardt. — Cet appareil (fig. 17 et 18), présenté par *MM. Kater et Ankersmit*, est d'aspect plus robuste bien que ses organes principaux soient également en verre pour permettre l'observation facile du fonctionnement.

(1) Voir L. Maugé, *Chaleur et Industrie*, n° 7, p. 444.

Le siphon est constitué par deux tubes concentriques dont l'un forme cloche; ce système facilite le démontage en cas de bouchage. La pression et la dépression sont transmises par un volume d'air à une masse de liquide neutre contenue en R'. Quand ce liquide est refoulé par l'élévation du niveau dans le siphon, il monte en H, bouche la soupape d'échappement D et chasse les gaz contenus dans le mesureur M, en les forçant à barboter dans la potasse du récipient P.

Ce dispositif d'absorption n'est plus, dans cet appareil, un simple barboteur;

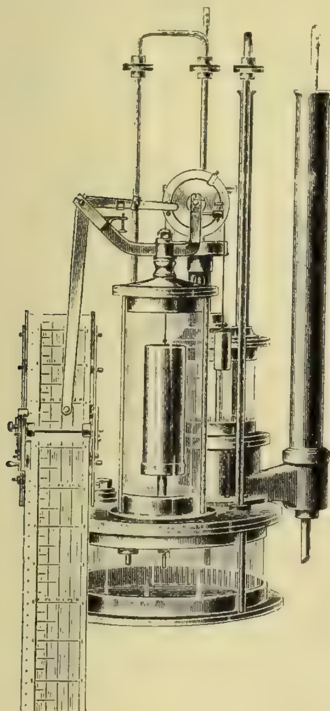


Fig. 17. — Analyseur automatique Eckardt.

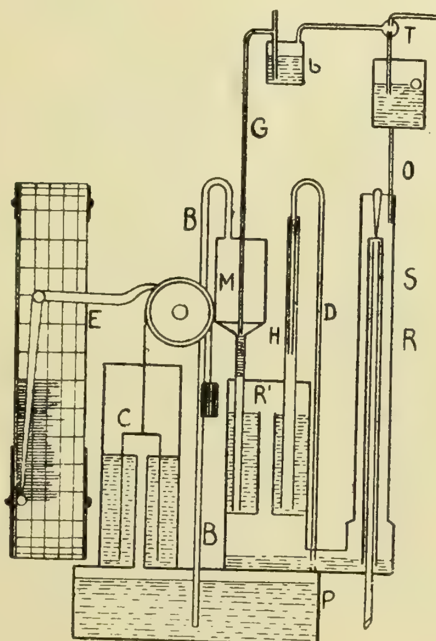


Fig. 18. — Schéma de l'appareil Eckardt.

il comprend *deux gouttières inclinées* qui conduisent les bulles en les laminant et en augmentant ainsi dans d'assez fortes proportions la surface de contact.

La cloche C reçoit les gaz résiduels qu'elle mesure et la poulie sur laquelle elle est équilibrée, actionne un levier coudé à angle droit et dont la plus grande branche porte la plume qui inscrit sur le diagramme la teneur de CO^2.

Pendant la vidange du siphon S, le liquide neutre redescend en H et M; la soupape D s'ouvre tout d'abord et laisse échapper les gaz résiduels contenus en C. Puis le tube B se bouchant par une colonne de potasse de hauteur proportionnelle à la dépression en R, le mesureur M se vide de liquide et se remplit de gaz dès que le liquide est complètement descendu dans le tube G.

Un nouveau refoulement de gaz et une nouvelle observation sont opérés quand, le siphon S s'étant désamorcé, l'eau, arrivant en O, recommence à monter dans l'éprouvette réservoir R.

La circulation continuelle des gaz à analyser se fait ici, comme dans l'appareil Ados, au moyen d'une petite trompe à eau munie d'une soupape hydraulique.

Cet appareil présente deux avantages assez importants : celui d'assurer une absorption efficace avec une perte de charge très faible et celui d'offrir un diagramme très étendu, enroulé en courroie sur le tambour tournant et sur une poulie munie d'un ressort de tension. Les mesures sont amplifiées au moyen d'un levier à branches inégales. Ce dispositif permet de faire environ 60 analyses à l'heure.

Comme les trois appareils précédemment décrits, l'Eckardt emploie un liquide neutre ou saturé, mû par les déplacements de l'eau du siphon par l'intermédiaire d'un matelas d'air.

Les deux autres systèmes du même type que nous allons décrire ont supprimé cette complication, se basant sur cette constatation que, l'acide carbonique étant très peu soluble dans l'eau à la pression normale et la surface de contact étant sensiblement la même pour toutes les observations successives faites sur des gaz dont la composition varie assez peu, il est facile de déterminer une fois pour toutes le coefficient de solubilité dans les conditions d'analyse et de l'ajouter aux observations.

Pour l'analyseur Eckardt, comme d'ailleurs pour tous les analogues, il est recommandé de n'employer que de la solution de potasse très pure de poids spécifique 1,26 c'est-à-dire 31°,6 B. Les lessives de soude, après carbonatation, cristallisent, en effet, très facilement dans les tubes. Le renouvellement de la solution de potasse pour un travail de 10 heures par jour, doit se faire environ tous les 15 jours.

Un filtre efficace qu'il faut nettoyer également tous les 15 jours, est joint à l'appareil.

Analyseur Van Houtte. — Cet appareil (fig. 19), construit par M. Van Houtte est des plus simples. Le mesureur se trouve dans le réservoir même du siphon relié au tuyau de gaz à analyser par le tube soupape L et au réservoir de réactif par le tuyau B qui peut très bien être branché seulement sur le coude supérieur du tube soupape L.

Quand le réservoir R se vide, la colonne liquide, descendant graduellement dans la branche courte du tuyau L, finit par ne plus pouvoir résister à l'aspiration de la masse d'eau contenue en M et dont le niveau est beaucoup plus élevé que dans R. Le gaz rentre en L, entraîne une petite quantité de liquide avec laquelle il s'émulsionne ; puis, passant rapidement, remplit complètement le mesureur M. L'eau, continuant à descendre en R, découvre la soupape d'échappe-

ment D et les gaz résiduels de l'opération précédente sont évacués par la cloche C. Après le désamorçage, le niveau de l'eau recommence à monter. La soupape d'échappement D se retrouve tout de suite fermée, puis c'est le tour de la soupape d'entrée de gaz L. Le volume gazeux contenu dans le mesureur M n'a donc plus qu'une issue : le tuyau B, qui le conduit à travers la lessive de potasse, où l'acide carbonique disparaît. Les gaz résiduels sont poussés dans une cloche C, équilibrée par des flotteurs et portant une tige à verrou réglable, qui accroche un bras d'un fléau équilibré dont l'autre bras porte la plume qui inscrit le résultat sur le diagramme enregistreur. Cette cloche plonge dans un bain de pétrole peu volatil entouré d'une chemise d'eau courante, pour avoir la même température en M et en C. C'est en effet l'eau qui circule autour de C qui va alimenter le réservoir M.

Quand le siphon se réamorce, tous les mouvements de soupapes hydrauliques, l'aspiration des gaz et l'évacuation des résidus se reproduisent de la même manière.

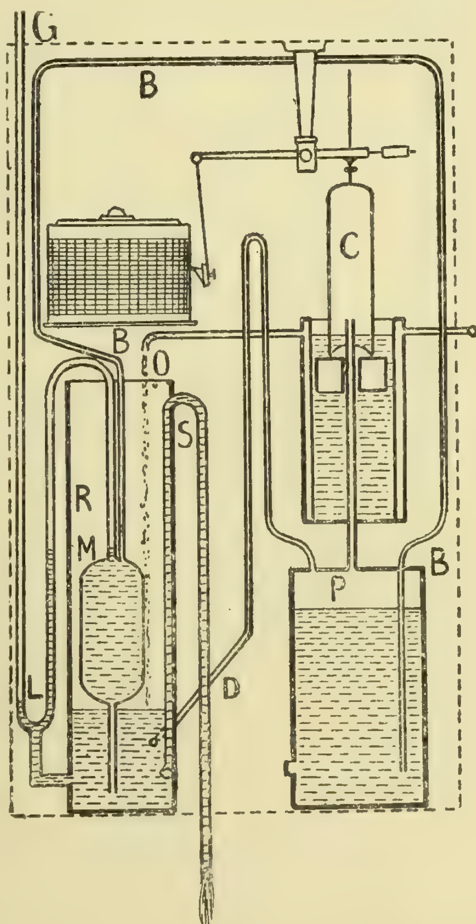


Fig. 19. — Analyseur automatique Van Houtte.

Appareil Simmance et Abady (fig. 20). — La maison *Alexander Wright* présentait deux spécimens du dernier type d'appareil, *Simmance et Abady*. Le type précédent, que l'on trouve encore assez souvent dans l'industrie, est mû hydrauliquement au moyen d'une cloche mobile rattachée, par un fil glissant sur deux poulies, à une autre cloche jouant le rôle de mesureur avant absorption. La cloche motrice se soulevant pendant la montée de l'eau dans le réservoir du siphon fait abaisser la cloche mesureuse qui refoule les 100 volumes de gaz prélevés dans le réservoir de potasse. Les gaz résiduels font monter peu à peu une troisième cloche à laquelle est adapté le mécanisme inscripteur.

Le dernier type est une amélioration certaine de l'appareil. Il n'y a plus qu'une seule cloche mobile. Comme le système Van Houtte, il fonctionne par déplacements

d'eau sans interposition de liquide neutre entre l'eau motrice et le gaz à analyser, mais il a l'avantage de comporter une double cloche d'extraction de gaz. Le ballon mesureur M, de volume égal à la cloche mesureuse mobile C, fait son prélèvement dans une cloche de plus grand volume et l'excédent que contient cette plus grande

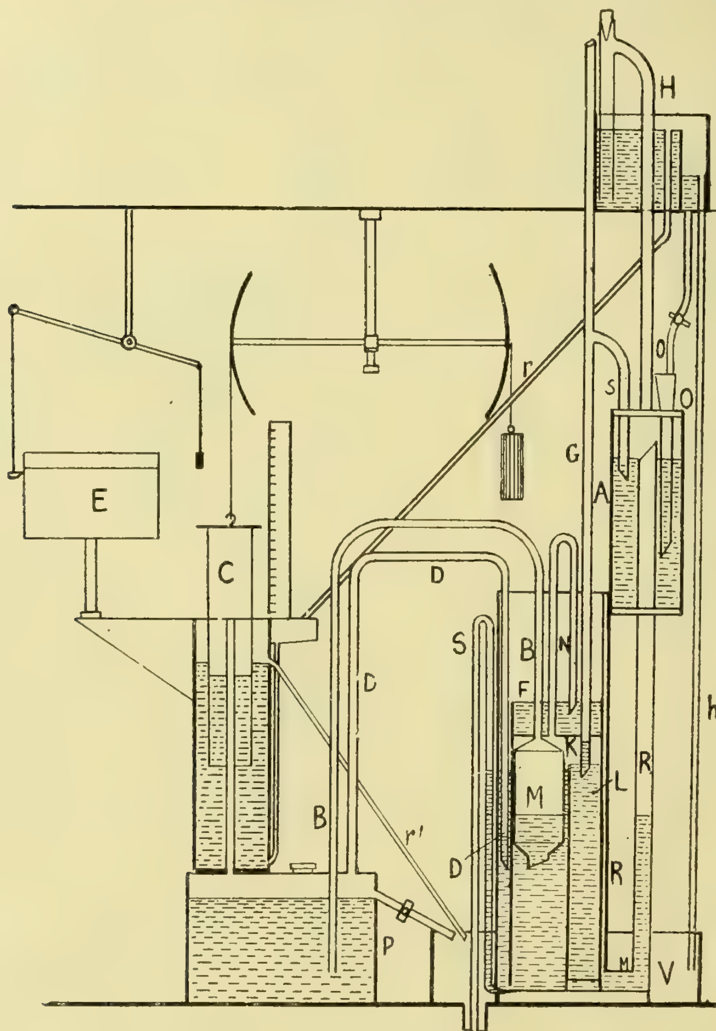


Fig. 20. — Analyseur automatique Simmance et Abady.

cloche est chassé par la soupape N à peu près comme cela se fait dans le système Hallwachs.

L'eau est introduite dans un récipient distributeur. Une très petite quantité de ce liquide est prise par le tuyau *r* et conduite dans le gazomètre C, où le niveau est maintenu constant par un trop-plein *r'* conduisant à un réservoir de vidange V.

Ce dispositif assure une température égale en C et en M et il n'y a ainsi aucune correction à faire pour chacun des mesurages.

Une deuxième portion d'eau, réglable par le robinet *o*, passe en O et sert au fonctionnement de l'extracteur à siphon R; l'excédent, conduit par le tuyau de trop-plein *h'*, est déchargé dans le réservoir de vidange V et rejeté.

C'est donc la vis de serrage O qui règle le débit d'eau dans l'extracteur et la vitesse de marche de l'appareil. Quand, après un remplissage du réservoir R, le siphon S s'est amorcé, le niveau baisse rapidement; la cuvette F, qui surmonte la cloche aspirante K, reste pleine, et la soupape d'échappement N est bouchée par une petite colonne d'eau qui monte au fur et à mesure que la dépression s'accroît en K. Dans cette cloche K, le gaz est aspiré par le tuyau G, après avoir passé par la soupape L, constituée par l'extrémité libre du tuyau G et l'éprouvette L, toujours pleine d'eau. Le mesureur M, plein d'eau et équilibré en B dans le réservoir P, par une colonne proportionnelle de lessive potassique, se vide subitement quand le niveau, dans l'extracteur K, atteint sa partie inférieure; il se remplit de gaz. En même temps, l'extrémité libre du tuyau D, formant soupape d'échappement, se trouve dégagée et l'air ou le gaz contenu dans la cloche gazométrique C, ne rencontrant plus de résistance, est chassé par le poids même de la cloche.

Après désamorçage, quand le niveau de l'eau dans le réservoir R et dans la cloche K recommence à monter, l'eau de l'éprouvette L, poussée par la pression, monte légèrement dans le tube G en formant soupape obturatrice; le tube N s'ouvre à son tour et laisse échapper le mélange gazeux refoulé par l'eau dans la cloche K.

Quand le niveau atteint le bas du mesureur M, le tuyau D se trouve bouché et la cloche gazométrique C ne présente plus d'issue. Le gaz contenu en M est refoulé peu à peu par B et, à travers la solution de potasse contenue en P, dans cette cloche C, pendant que le mélange gazeux situé autour de M est complètement évacué par M.

Dans son mouvement ascendant, la cloche mobile C, équilibrée sur une balance suspendue, entraîne le levier qui porte la plume de l'enregistreur et le résultat de l'analyse est, comme toujours, traduit par une ligne représentant la proportion des gaz résiduels dans les vingt derniers centièmes du mélange. La teneur en CO^2 est lue par différence

L'équilibre se fait pendant que le niveau de l'eau dans l'extracteur atteint peu à peu le coude du siphon. Les mouvements inverses se reproduisent alors comme nous l'avons indiqué précédemment. Cet appareil est presque entièrement métallique; seul le cylindre d'arrivée d'eau servant de soupape de sûreté pour l'arrivée des gaz est en verre.

Quand on veut créer une circulation continue du gaz, on adapte en H une

trompe aspirante qui crée un barbotage continu par le tube plongeur S. Le gaz du tube G se trouve ainsi constamment renouvelé.

Le deuxième appareil présenté par *Alexander Wright* comporte en outre un indicateur de tirage dont l'inscripteur se trouve sur le même tambour rotatif qui

Fig. 21. — Analyseur automatique Mono.

sert à l'analyseur. On a ainsi, à la même heure et sur le même diagramme, la dépression et la teneur en CO^2, c'est-à-dire presque toutes les indications nécessaires pour le contrôle de la combustion dans les chaudières.

Appareil Mono à commande pneumatique. — Dans cet appareil (fig. 21), qui ne figurait pas à l'Exposition mais qu'il est intéressant de décrire, à cause de son originalité, les aspirations et refoulements de gaz sont provoqués par les

déplacements d'une masse de mercure repoussée par de l'air comprimé et descendant par son propre poids. L'air comprimé, arrivant en A, pénètre dans la cloche R et le réservoir R par les petits orifices *a*; il refoule le mercure qui monte à la fois dans la soupape d'échappement des gaz résiduels D, dans le tuyau d'évacuation Q, dans le tube V et dans le récipient mesureur M. Le mélange gazeux qui avait été aspiré par ce mesureur, pendant un mouvement de descente du mercure, est alors refoulé à travers la soupape de retenue et barbote dans la potasse en P pour faire ensuite monter la cloche gazométrique C.

Quand le mercure atteint le sommet du mesureur, son niveau dans le réservoir R et dans la cloche R' est tel qu'il affleure l'extrémité inférieure du tube *t'*. L'air comprimé pénètre dans ce tube en entraînant du mercure par émulsion et induction; la séparation se fait dans le vase H qui a la forme d'un cône renversé; le mercure rétrograde par V et l'air s'échappe par X. La pression intérieure devient ainsi presque nulle, et cela dure pendant tout le mouvement de descente du mercure dans M, V et Q. Quand la soupape D est dégagée, les gaz résiduels s'échappent et la cloche C s'abaisse. Le mercure descendant en M, son niveau monte dans le réservoir R et, quand il atteint le niveau supérieur du siphon *b'*, il y a amorçage instantané : le mercure s'écoule rapidement dans l'ampoule R' et le tube *t*, qui livrait passage à l'air, est immédiatement obturé. La pression atteint rapidement le même régime que précédemment et le mercure remonte dans le mesureur M, en chassant, à travers la potasse, le gaz qu'il a aspiré pendant son mouvement de descente.

Appareil Brenot-Poulenc, à commande mécanique. – Dans cet appareil, qui fonctionnait à l'Exposition, l'aspiration et le refoulement gazeux, au lieu d'être assurés par un siphon intermittent, sont opérés par une pompe à gaz; les soupapes hydrauliques réglant les différentes entrées et sorties de gaz sont remplacées par des basculeurs mécaniques jouant le rôle de robinets à deux voies; les cloches mesureuse et enregistreuse sont de forme curviligne.

La pompe à gaz est constituée par un récipient cylindrique susceptible de tourner sur son axe et possédant une cloison qui divise la partie supérieure du vase en deux chambres, comme l'indique la figure 22. Ce cylindre est animé, au moyen d'un petit moteur électrique, d'un mouvement alternatif de rotation partielle qui a pour effet de déplacer la cloison par rapport à une masse d'eau dont le niveau se confond avec le diamètre horizontal de la pompe. Le plan d'eau étant immobile et la cloison allant et venant, ce mouvement de va-et-vient crée un refoulement et une aspiration de gaz. Le gaz refoulé passe dans un mesureur en forme de cloche curviligne, d'une contenance de 100 cm^3 environ, dans laquelle la pression du mélange gazeux est connue et déterminée par les constantes de construction de l'appareil.

Après passage à travers un ballon rempli de ponce imprégnée de lessive de potasse, les gaz, débarrassés de CO^2, passent dans une deuxième cloche curviligne

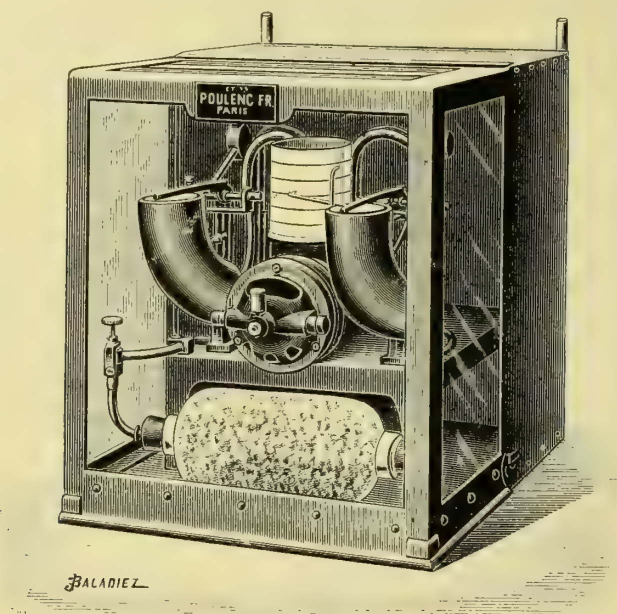


Fig. 22. — Analyseur automatique Brenot-Poulenc.

analogue à la première et partiellement équilibrée par un contrepoids. C'est cette deuxième cloche qui commande le mécanisme enregistreur. Dans une première phase, le gaz contenu dans la pompe R est refoulé à travers la soupape basculante

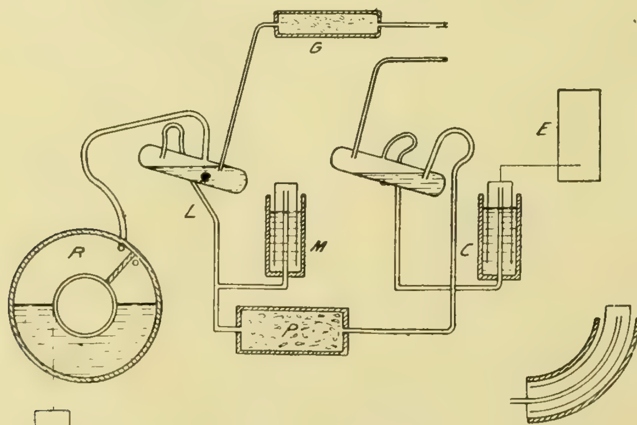


Fig. 23. — Schéma du fonctionnement de l'appareil Brenot-Poulenc.

L, dans le mesureur M et, pendant ce temps, le résidu gazeux contenu dans la cloche C de l'enregistreur est chassé par la soupape D.

Pendant la deuxième phase, la pompe aspire un nouveau volume de gaz à travers le filtre G; le basculeur ayant fait manœuvrer les deux soupapes, le mesureur M est mis en communication avec la cloche C de l'enregistreur à travers le ballon P renfermant le produit absorbant CO^2. La plume de l'enregistreur, qui ne frotte pas normalement sur le diagramme, y est appuyée par un mécanisme, après un certain temps de repos suffisant pour que tout le gaz soit absorbé. La commande mécanique de la pompe à gaz et du basculateur est assurée par un petit moteur électrique directement accouplé à un réducteur de vitesse et un transformateur de mouvement.

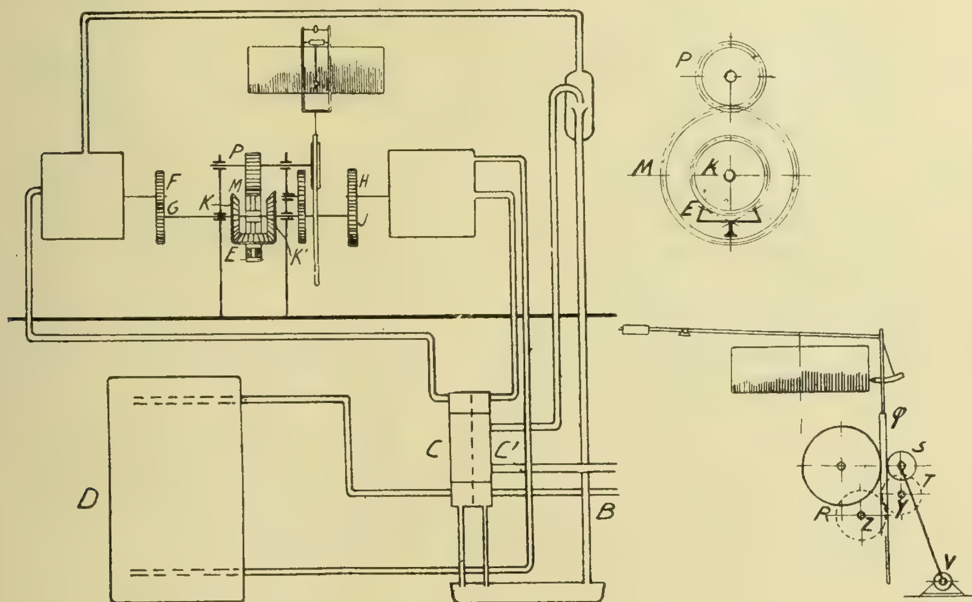


Fig. 24. — Analyseur automatique Pintsch Bayer.

L'appareil américain Vestover est aussi à commande mécanique; on trouvera sa description dans les ouvrages précités de M. Izart.

Enregistreurs volumétriques à compteurs différentiels.

Le mesurage avant et après absorption est fait par des compteurs et le pourcentage en CO^2 peut se déduire de la différence des lectures des deux compteurs. On peut citer comme types de ce genre d'analyseurs l'appareil *Pintsch Bayer* et celui de la *Cambridge and Paul Instrument* C°.

Appareil Pintsch Bayer. — Dans cet appareil, non représenté à l'Exposition, les gaz à analyser sont aspirés par une trompe à eau à travers un échan-

geur de température, un compteur rotatif, une masse absorbante de CO^2, constituée par un mélange de chaux et de sciure de bois et enfin un deuxième compteur rigoureusement identique au premier et un deuxième circuit de l'échangeur chargé d'équilibrer les températures.

Les deux compteurs identiques enregistrant des débits différents tournent simultanément à des vitesses différentes et la différence est inscrite sur le diagramme d'un enregistreur par l'intermédiaire d'un mécanisme différentiel représenté sur la figure 24.

Appareils à mesurage manométrique.

Avec les appareils de cette catégorie, on se contente de mesurer la dépression causée par l'absorption de CO^2; on n'opère donc plus sous pression constante mais à volume constant. Dans l'analyseur de *Leurson et Lalleman*, un certain volume de gaz est emprisonné dans une enceinte hermétique; on la met en contact avec un absorbant et, au moyen d'un micromanomètre, on mesure directement la diminution de pression.

Appareil Uehling. — Cet appareil américain (fig. 25) ne figurait pas à l'Exposition; il est cependant utile d'exposer son principe.

Il utilise la loi d'écoulement d'un mélange de gaz à travers un orifice en mince paroi. Deux chambres C et C′ sont en communication par un diaphragme mince B percé d'un petit orifice. Par un autre orifice A, la chambre C reçoit les gaz, et le fond de la chambre C′ est relié à une trompe aspirante à vapeur. Deux tubes manométriques mesurent les dépressions régnant respectivement dans les deux chambres.

La trompe à vapeur maintient un vide d'une valeur constante mais, à cause du passage des gaz à travers les orifices, la dépression en C′ est deux fois plus grande qu'en C et les deux manomètres indiquent cette différence. Cette relation se maintient tant que le volume de gaz passant par les deux orifices reste constant; mais si le CO^2 est absorbé en C, la valeur du vide augmentera dans cette chambre; la colonne P montera d'une quantité proportionnelle au volume de gaz absorbé. Pour que cet appareil donne des indications exactes, il faut naturellement que le vide soit de valeur constante, que les deux orifices soient dans un milieu à température constante.

Appareil Stérose. — Cet appareil (fig. 26), présenté par M. Massip, se compose d'un cylindre métallique renfermant un vase poreux dans lequel se trouve un absorbant solide. Au moyen d'un aspirateur placé à la base de la cheminée et fonctionnant par la dépression existant à cet endroit, une fraction des gaz de la combustion est dérivée dans le cylindre, autour du vase poreux.

Par suite de la présence d'une cartouche absorbante, les gaz qui pénètrent à l'intérieur du vase poreux sont dépouillés de leur CO^2; il en résulte un vide partiel représentant la pression propre au CO^2 et proportionnel à la teneur des gaz en acide carbonique qui se trouve ainsi reproduite par le tube manométrique G relié d'un côté à l'intérieur du vase poreux et de l'autre au cylindre métallique. Ce manomètre est muni d'une échelle indiquant directement la teneur en CO^2 des gaz de combustion.

La diffusion des gaz à travers le vase poreux étant continuelle, cet appareil donne des indications continues, mais il n'est pas enregistreur.

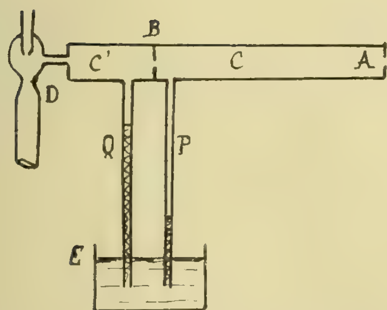


Fig. 25. — Principe de l'analyseur Uehling.

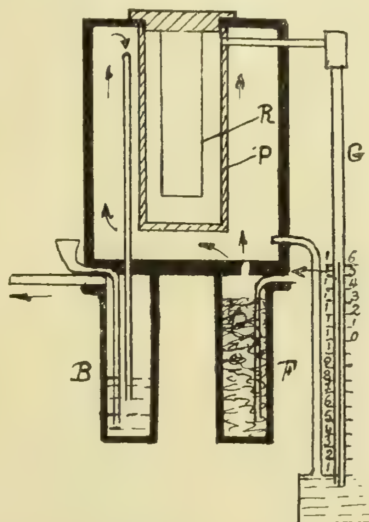


Fig. 26. — Schéma de l'analyseur Stérose.

La cartouche absorbante est formée de sels solides (chaux potassée) renfermés dans un carton et peut durer 24 heures en service continu.

La partie de l'échelle comprise entre 9 et 14 est colorée en rouge pour indiquer la bonne marche aux chauffeurs.

Analyseur Berger. — Nous plaçons à tort ce nouvel appareil (fig. 27), présenté à l'Exposition par L. Maxant, constructeur, dans la série des analyseurs à mesurage manométrique; on opère bien, en effet, sous pression constante et les variations de volume dépendant des teneurs en CO^2 sont inscrites par une cloche mobile équilibrée formant balance hydrostatique; il y a cependant beaucoup d'analogies avec le principe de l'appareil Uehling.

Dans un réservoir B on introduit de l'eau en quantité suffisante pour que le trop-plein fonctionne toujours. Cette eau s'écoule à pression constante dans la trompe A et entraîne en C un courant de gaz à débit constant. Dans cette trompe commence l'absorption de CO^2 et, sur le champignon C, il y a séparation du liquide

et du gaz. Le liquide s'écoule par un trop-plein maintenant la pression constante et le gaz est refoulé à travers le réservoir de potasse D, où il abandonne tout son CO^2 dans la cloche F et enfin dans l'air par le petit ajutage calibré E.

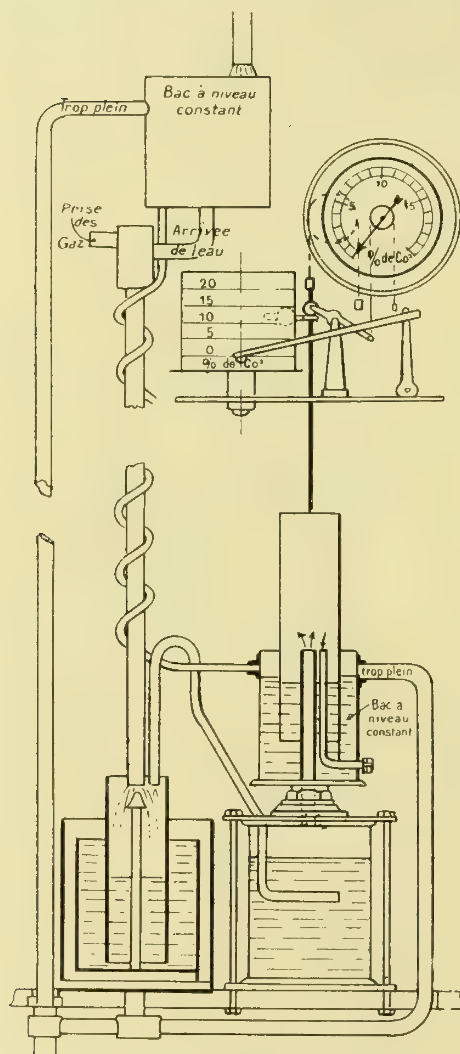


Fig. 27. — Analyseur automatique Maxant-Berger.

La pression étant constante et l'orifice E de section constante, la position de la cloche pour l'air est assez différente de la position pour 20 p. 100 de gaz absorbable; les teneurs de CO^2 de 0 à 20 p. 100 feront tenir à cette cloche toutes les positions intermédiaires. La cloche étant reliée au mécanisme indicateur et enregistreur, on possède une indication et une intégration continues de la teneur en CO^2.

Il est nécessaire que la cloche n'éprouve aucune résistance et que tout le mécanisme inscripteur soit convenablement équilibré.

3° Analyseurs à mesurage calorimétrique.

La teneur en CO^2 est évaluée par les variations d'un thermomètre indiquant les températures obtenues dans la prise de gaz après absorption de l'acide carbonique par une quantité connue de soude granulée ou d'un absorbant quelconque.

Nous ne connaissons comme appareil de cette catégorie que le thermoscope décrit plus haut et qui n'est pas un analyseur continu.

4° Analyseurs à mesurage électrique.

Nous ne connaissons, dans cette catégorie, que l'appareil de *M. Chopin* (fig. 28), qui était exposé et a fait l'objet d'une communication à l'Académie des Sciences en 1918 (1).

(1) *C. R.* 167, p. 335, séance du 27 août 1918.

« Lorsqu'on fait barboter, dit le compte rendu, un volume constant du gaz à analyser dans un volume également constant d'une solution titrée de soude caustique, il se produit un mélange de soude et de carbonate de soude, dont les proportions relatives dépendent de la teneur en CO^2. D'autre part, la résistivité électrique d'une solution de carbonate de soude est 3 fois plus élevée environ que la résistivité de la solution de soude dont elle est issue. Il suffit donc de comparer la résistance électrique de la solution avant et après l'absorption du gaz carbonique pour en déduire la teneur de ce gaz dans l'échantillon examiné.... »

L'appareil de contrôle de M. Chopin comprend un pyromètre pour la mesure des températures et un ampèremètre, donnant la teneur en CO^2, dont les aiguilles se déplacent sur le même cadran.

Le point de croisement des 2 aiguilles se déplace devant un abaque qui indique instantanément les pertes à la cheminée. L'appareil analyseur de CO^2 comprend un récipient D servant successivement :

1° A mesurer un volume constant de la liqueur titrée de soude contenu dans le réservoir;

2° Au barbotage, dans cette solution, d'un volume constant de gaz;

3° A la constitution d'une résistance électrique entre les deux électrodes de nickel F et G faisant partie du circuit électrique de mercure.

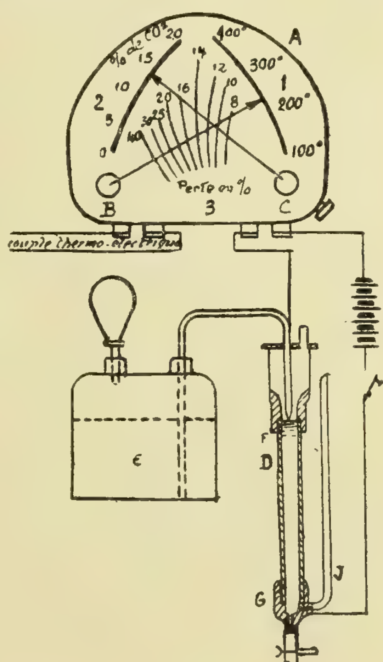


Fig. 28. — Indicateur Chopin pour des pertes à la cheminée.

La détermination du O se fait en fermant le circuit sur une colonne de soude caustique. L'appareil est muni, à cet effet, d'un shunt magnétique variable.

Emploi des analyseurs de CO^2.

Nul ne conteste maintenant l'importance de la détermination de la teneur en CO^2 pour le contrôle de la combustion. Le carbone brûlant avec l'oxygène de l'air pour donner du CO^2, ou du CO, on doit retrouver dans les fumées tout le carbone introduit sur le foyer et l'on se trouve en face d'une réaction chimique dont on ne peut contrôler la marche que par l'analyse.

Un analyseur continu permet de calculer le volume de fumées correspondant à une unité de poids de charbon, de connaître exactement l'excès d'air et de se

rendre compte s'il n'y a pas d'imbrûlés dans les fumées. Pour connaître exactement la chaleur sensible emportée par ces fumées, il faut aussi déterminer la température et faire usage de thermomètres et pyromètres. Nous arrivons donc à la deuxième classe d'appareils présentés à l'Exposition de l'Office de Chauffe.

II. — THERMOMÈTRES ET PYROMÈTRES (1).

Nous ne ferons pas ici la description des thermomètres à mercure qui sont très connus et qui ne diffèrent, selon les constructeurs, que par quelques petits détails.

Presque toutes les maisons de construction d'appareils scientifiques fabriquent des thermomètres à mercure et un certain nombre de ces maisons en avaient exposés : Poulenc, Maxant, Richard, la Compagnie Cambridge, etc.

Seuls les grands thermomètres en verre de 0° à 500°, placés dans une gaine de laiton, sont d'un emploi vraiment industriel. On peut les employer notamment pour indiquer les températures des fumées dans les carneaux conduisant à la cheminée. Pour la mesure des hautes températures, le pyromètre à retrait de Wedgwood, le premier en date, n'est plus employé, mais on utilise encore, dans les fours céramiques, les *montres fusibles* composées de pâtes céramiques de compositions variées. Les montres étudiées par Seger, par exemple, peuvent indiquer toute la série des températures de 600° à 1.800° avec des écarts de 25 degrés.

La maison française *Guerineau* a exposé toute une série de ces indicateurs intéressants.

On possède cependant maintenant, pour la mesure des températures élevées, des moyens aussi ingénieux que variés, presque tous représentés à l'Exposition et que l'on peut classer dans les catégories suivantes :

1° Pyromètres à dilatation de solides;

2° Pyromètres à dilatation de liquides;

3° Pyromètres à gaz;

4° Pyromètres à dilatation de vapeurs saturantes;

5° Pyromètres calorimétriques;

6° Pyromètres à radiation totale;

7° Pyromètres optiques;

8° Pyromètres à résistance électrique;

9° Pyromètres thermoélectriques.

(1) M. Le Chatelier et Boudouard, *Mesure des températures élevées* (Gauthier-Villars, 1900).
M. Weiss, *L'état actuel de la pyrométrie*, *Journal de physique*, t. II, série VI, n° 2.

1° Pyromètres à dilatation de solides (1).

Ils sont assez peu employés maintenant et aucun d'eux ne figurait à l'Exposition.

Quand deux solides de coefficients de dilatation très différents sont introduits dans un milieu réchauffé, la différence des dilatations peut être employée pour faire agir un bras de levier auquel la tige de coefficient de dilatation plus faible, sert de point d'appui. Nous citerons comme appareil type de cette catégorie, le pyromètre à graphite de *Steinle et Hartung* et le pyromètre à graphite *Maxant*.

Le quartz et le graphite ont un coefficient de dilatation très faible; quand on les introduit dans une gaine métallique formant canne de pyromètre, la gaine s'allonge pendant que l'âme de quartz ou de graphite bouge très peu. L'allongement de la gaine met en mouvement une aiguille sur un cadran et l'appareil est étalonné comparativement avec un autre système de pyromètre, plus sensible mais moins robuste.

On utilise aussi quelquefois un mélange d'argile et de graphite.

2° Thermomètres à dilatation de liquides.

Tous les thermomètres à alcool, à eau et à mercure rentrent dans cette catégorie; ils ne peuvent indiquer les températures supérieures aux points d'ébullition du liquide employé à la pression régnant à l'intérieur de l'enceinte thermométrique.

Ces appareils sont plutôt employés au laboratoire et seuls les thermomètres à mercure à gaine de cuivre sont employés couramment dans l'industrie pour la mesure de la température des fumées. Encore leur préfère-t-on habituellement les pyromètres à tension de vapeur et les pyromètres électriques qui ont l'immense avantage de permettre le contrôle à distance.

C'est aussi un liquide dilatable que l'on emploie dans les thermomètres indicateurs, enregistreurs ou avertisseurs du commerce, présentés principalement par *M. Richard* et *M. Maxant*. L'organe thermométrique est constitué par un tube courbe, méplat, de dimensions variant avec la marche et la sensibilité désirées, hermétiquement clos et plein de liquide dilatable pratiquement incongelable (fig. 29).

Les variations de températures ont pour effet de dilater plus ou moins le liquide, ce qui change la courbure du tube dont l'une des extrémités est fixe et l'autre, reliée, par un système de bielles et leviers, à l'aiguille indicatrice ou au style enregistreur.

Pour rendre ces thermomètres plus sensibles, c'est-à-dire pour avoir une marche

(1) Voir Le Verrier, *Procédés de chauffage* (Gauthier-Villars, 1902).

considérable pour de faibles variations de température, l'organe thermométrique peut être constitué par un tube méplat enroulé en spirale comme un serpentin réfrigérant.

Les *thermomètres-cannes à tige rigide* de *Richard* (fig. 30) sont aussi basés

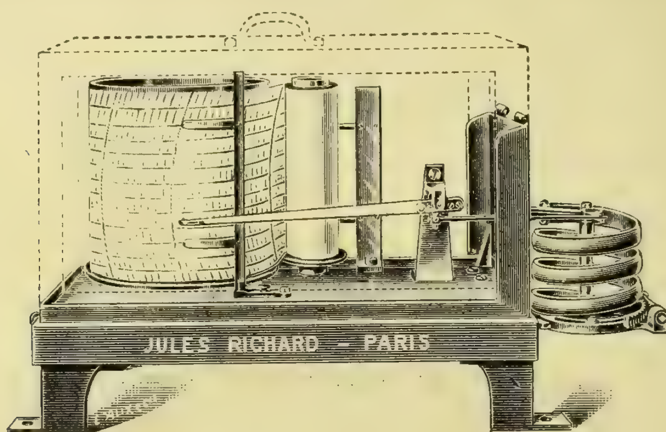


Fig. 29. — Thermomètre à liquide dilatable.

sur la dilatation d'un liquide. Dans un tube fermé en métal formant canne, se trouve une série de membranes métalliques montées l'une sur l'autre, la supérieure étant soudée sur le bouchon de la canne. Si l'on remplit de liquide dilatable l'espace qui se trouve entre les membranes et le tube métallique, la membrane inférieure totalisera les mouvements de toutes les autres. On la relie au système indicateur ou enregistreur par une tige centrale.

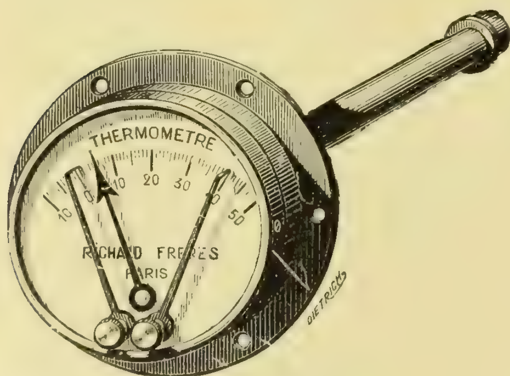


Fig. 30. — Thermomètre-canne Richard.

Cet appareil exige 3 à 4 minutes pour être en équilibre de température. La canne peut être perpendiculaire au cadran ou dans le même plan.

Pour permettre le contrôle de la température à distance, on construit aussi (Richard, Maxant, etc.) des thermomètres à dilatation de liquide, munis de tubes métalliques capillaires qui permettent de transmettre la pression du liquide dilatable du récipient thermométrique au tube manométrique de l'indicateur ou de l'enregistreur.

La dilatation du liquide agit directement sur le tube extensible avec d'autant

plus de force et de sûreté que ce liquide est privé d'air et incompressible. Ces appareils possèdent un compensateur chargé d'annuler les effets de la température ambiante sur la partie de l'appareil donnant les indications. On peut régler ces appareils pour fonctionner jusqu'à 360°.

3° Pyromètres à gaz.

Les pyromètres à gaz sont plutôt employés comme étalons pour la graduation

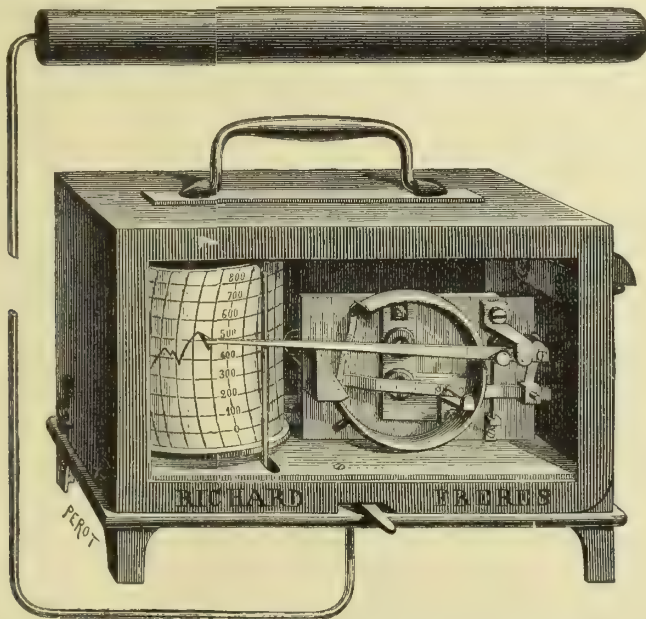


Fig. 31. — Thermomètre enregistreur à gaz Richard.

des autres appareils; néanmoins plusieurs types pratiques sont utilisés, dans l'industrie couramment, et donnent de bons résultats.

Pour la construction des appareils d'étalonnage, le choix de la matière constituant le réservoir est très important, car il faut en effet être sûr de son imperméabilité et connaître exactement sa dilatation pour tenir compte de la variation de volume sous l'action de la chaleur.

Les corps généralement employés sont : le platine, le fer et la porcelaine.

Ces pyromètres sont à volume constant ou à pression constante ou alors la méthode employée est celle du voluménomètre de Becquerel qui n'exige pas l'invariabilité de la masse gazeuse pendant toute la durée de l'expérience.

Les *thermomètres à azote Richard* (fig. 31), qui mesurent les températures jusqu'à 700°, se composent d'un réservoir en acier d'environ 25 mm de dia-

mètre sur 50 cm de longueur, communiquant par un tube filiforme, pouvant avoir 2,50 m, avec un manomètre. L'appareil est construit et gradué d'après le principe observé par Regnault, que la pression de l'air sous volume constant double pour une élévation de 273 degrés.

Le réservoir est rempli d'azote et plongé dans le milieu dont on veut déterminer la température. On remplit ce réservoir d'azote sec et pur pour que ne subsiste pas, au rouge, l'erreur due à l'absorption de l'oxygène par le fer.

4° Pyromètres à dilatations de vapeurs.

Beaucoup de maisons construisent pour la mesure des températures de 100° à 700° (fumées, vapeur surchauffée, réchauffeurs d'airs, etc.), des thermomètres à lecture à distance basés sur l'emploi des dilatations de mercure. La tige plongeante est placée dans l'enceinte dont on doit mesurer la température et reliée à l'indicateur ou à l'enregistreur par un tube filiforme en acier.

Les maisons *Maxant, Kater et Ankersmit, Wright*, présentaient en fonctionnement ce genre d'appareil dont le tube souple peut atteindre une dizaine de mètres.

Les différents appareils que nous avons décrits précédemment, à dilatation de liquide, de gaz ou de vapeurs, ont l'inconvénient d'être sensibles à la chaleur par tous leurs éléments et de dépendre des déformations de l'enveloppe thermométrique et par conséquent de nécessiter des dispositifs compensateurs.

Les *thermomètres à pression de vapeur saturante Fournier* appliquent un principe nouveau dans la technique des thermomètres; ils reposent sur la loi de physique suivante : la pression d'une vapeur saturante est indépendante des variations de volume de cette vapeur.

La seule partie sensible de l'appareil est constituée par un petit cylindre contenant la chambre à vapeur que l'on place directement dans l'enceinte dont la température est à déterminer.

Le tube métallique souple qui relie l'élément sensible au manomètre est un tube capillaire débouchant au centre de la capacité du réservoir : l'aiguille de l'indicateur ou de l'enregistreur est actionnée par l'élément manométrique : boîte anéroïde ou tube Bourdon.

On introduit jusqu'à un niveau calculé, dans ce système, un liquide peu volatil, à tension de vapeur déterminée (liquide transmetteur) et, au-dessus de ce liquide, un liquide sensible, moteur, dont les variations de pression, fonction des variations de température, sont transmises hydrauliquement au manomètre et par suite à l'aiguille.

Avec ce dispositif « on peut modifier à volonté la capacité intérieure de chacun des éléments sans faire varier la pression de l'agent moteur et, par suite, la température ».

Le tube flexible peut donc sans crainte subir une déformation et les variations de la température extérieure n'affectent en rien les indications.

Il n'y a pas lieu de faire entrer en ligne de compte la tension de vapeur du liquide transmetteur car la tension combinée des vapeurs saturantes de plusieurs liquides, non susceptibles de se combiner entre eux, est toujours égale à la plus grande des tensions composantes.

Pratiquement, dans ces appareils, la tension du liquide transmetteur reste inférieure à celle du liquide moteur.

Au moment de l'étalonnage il est tenu compte de la différence de niveau entre le cadran et le réservoir.

Pour que cet appareil puisse rapidement indiquer les variations de température de la pratique, il convient de le munir d'un réservoir filiforme, flexible, déformable (fig. 32). Ce système convient très bien, par exemple, pour la vapeur surchauffée et le réservoir peut être placé directement dans le courant de vapeur sans interposition d'une gaine protectrice. La figure 32 représente un dispositif à réservoir rigide avec éprouvette, destiné à des cas analogues.

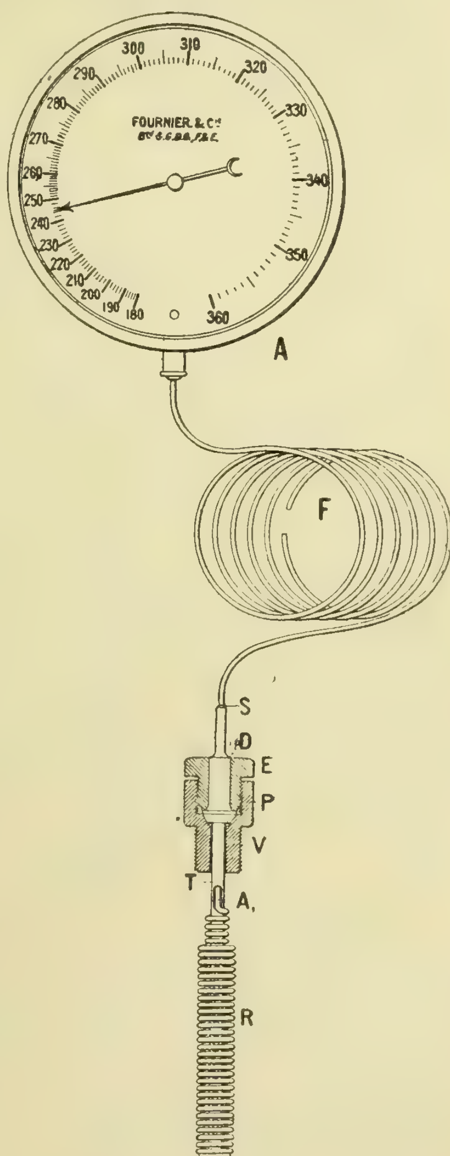


Fig. 32. — Pyromètre Fournier pour vapeur surchauffée.

Pour les températures jusqu'à 700°, on emploie comme liquide le mercure dont la tension de vapeur est très bien définie. Comme il attaque presque tous les métaux usuels, le dispositif suivant est employé.

Une boîte en acier B est divisée en deux compartiments par une membrane en substance inattaquable par le mercure. Le compartiment supérieur ainsi que le tube capillaire en acier, qui conduit au réservoir R, contiennent le liquide moteur, le mercure, tandis

que le compartiment inférieur renferme, comme le tube flexible en cuivre, le liquide transmetteur (fig. 33).

Les thermomètres Fournier sont fournis avec indicateurs ou enregistreurs pour une distance quelconque. Il existe même des enregistreurs multiples traçant simultanément sur la même feuille les diagrammes de plusieurs températures différentes.

5° Pyromètres calorimétriques.

Nous décrirons seulement très rapidement le *calorimètre à enveloppe d'eau* et le *pyromètre à courant d'eau de Saintignon.*

Le premier comprend un calorimètre en cuivre, d'une contenance de 2 l, maintenu dans une double enveloppe contenant de l'eau et entourée de feutre à l'extérieur. Un thermomètre au 1/5 de degré complète ce calorimètre.

Le corps thermométrique est une petite masse de nickel que l'on introduit dans le milieu chaud au moyen d'une tige possédant une chambre métallique. Quand le corps thermométrique a pris la température du milieu à contrôler, on le plonge rapidement dans le calorimètre et on lit l'élévation de température.

Le *pyromètre à courant d'eau de Saintignon*, destiné à la mesure des hautes températures, jusqu'à 2.500°, est basé sur le principe suivant : on place, dans le four dont on veut connaître la température, une tube métallique dans lequel on fait circuler de l'eau avec une vitesse suffisante pour éviter la vaporisation et exactement connue; la différence de température de l'eau à l'entrée et à la sortie donne la température du foyer.

Cet appareil est présenté par M. Jules Richard, constructeur.

6° Pyromètres à radiation totale.

Pour évaluer les températures au moyen de la radiation calorifique, il faut mesurer un changement calorifique produit sur le corps instrument par le corps étudié. On obtient soit une élévation de température soit un phénomène résultant : variation de résistance électrique, de force thermo-électrique, etc.

Le pyromètre Féry, présenté par la *Cie pour la Fabrication des Compteurs et Matériel d'Usines à Gaz* et par *M. Pellin*, fait partie de cette catégorie. Il mesure la chaleur rayonnée par les corps dont on veut connaître la température, chaleur qui est la même pour tous les corps noirs : charbon, fer, fonte, acier; il est basé sur la loi de Stephan qui peut s'énoncer ainsi : la quantité de chaleur rayonnée par un corps noir ou par l'ouverture d'un four isotherme sur un corps noir froid est proportionnelle à la différence entre la 4e puissance de la température absolue du four, et la 1e puissance de la température absolue du corps froid. Elle est repré-

sentée par la formule $Q = a(T^4 - t^4)$ dans laquelle Q est la chaleur rayonnée, a un coefficient spécial à chaque appareil, T la température absolue du corps rayonnant à mesurer, t la température absolue de la partie du pyromètre qui mesure la chaleur rayonnée.

La sensibilité de ces pyromètres croît avec la température et on peut effectuer les mesures sans qu'aucune de leurs parties soit portée à haute température.

Le *télescope pyrométrique Féry* (fig. 34), qui mesure les températures comprises entre 400° et 3.500°, se compose : d'un télescope renfermant un miroir en métal doré à la surface. Les rayons calorifiques et lumineux réfléchis par ce miroir se concentrent au foyer où ils forment l'image réduite de l'ouverture du four ou du corps chaud. A ce foyer se trouve un couple thermo-électrique formé d'alliages spéciaux soudés à deux lames de laiton D et R. Ces lames sont fixées aux bornes b et b' d'où les cordons les relient à celles du galvanomètre.

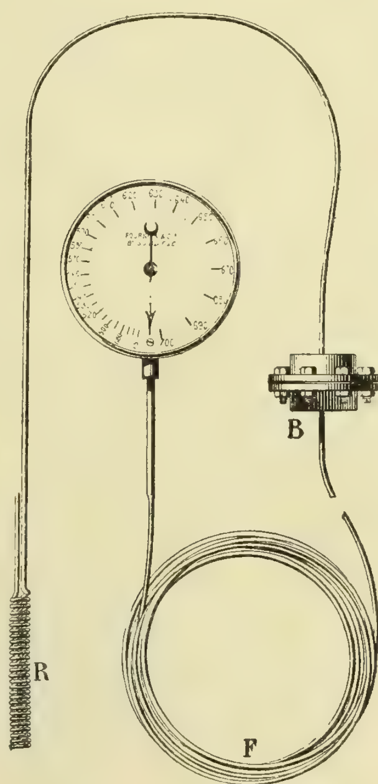


Fig. 33. — Pyromètre Fournier à membrane.

Le galvanomètre généralement employé dans ce genre d'appareils est du type des voltmètres et ampèremètres à deux pivots. Pour une échelle dont le maximum est inférieur à 1.000°, il est nécessaire d'employer un galvanomètre à suspension avec niveau et vis calante.

Quand on veut, à l'aide de cet appareil, mesurer la température d'un four, il convient de placer préalablement dans la paroi de ce four un tube réfractaire ouvert à l'avant, plongeant dans le four et fermé à cette extrémité. Ce dispositif empêche l'action directe des flammes et c'est le fond du tube qu'il faut viser par l'oculaire O du télescope. On amène l'image du regard sur la soudure du couple de telle manière que l'image du corps visé déborde franchement autour de la soudure.

Il suffit de quelques secondes pour que la soudure s'échauffe, mais la température ne s'élève jamais à plus de 100°.

Pour une bonne marche, le télescope doit être placé à un mètre au plus de l'ouverture, mais on comprendra qu'avec ces pyromètres, les indications sont indépendantes de la distance : l'image du corps chaud est d'autant plus grande qu'on

est plus rapproché de ce corps et il suffit que l'image soit plus grande que le diamètre du cylindre d'argent noirci qui ne laisse converger sur le couple qu'un angle solide de lumière, toujours le même et indépendant de la mise au point.

Le courant produit par l'échauffement de la soudure de la pile thermo-élec-

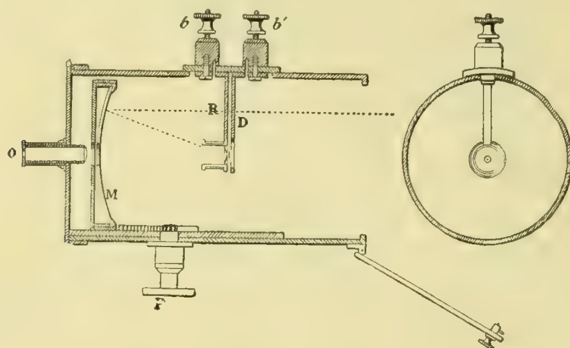


Fig. 34. — Pyromètre à radiation totale Féry (coupe).

trique est amené par des conducteurs souples au galvanomètre gradué directement en degrés centigrades.

Les différents constructeurs de pyromètres Féry livrent au commerce un pyromètre muni d'un diaphragme à papillon qui permet d'obstruer radialement

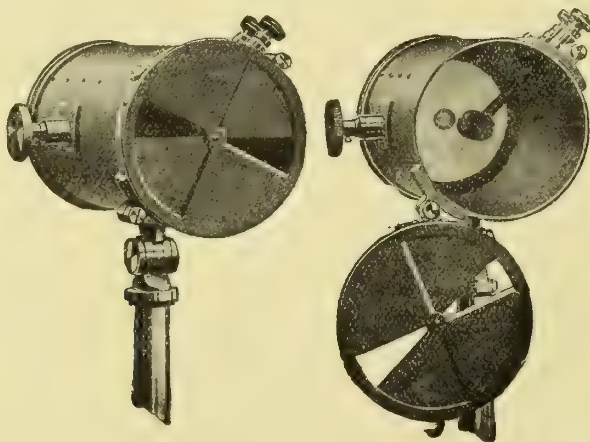


Fig. 35. — Pyromètre télescopique Féry à diaphragme basculant.

une partie des rayons calorifiques. On peut ainsi mesurer des températures quelconques avec des échelles plus étendues.

Le galvanomètre comporte deux graduations (500° à 1.300° et 900° à 2.000°, par exemple); l'échelle inférieure correspond à la pleine ouverture du diaphragme et l'échelle supérieure à la fermeture partielle.

Le pyromètre à radiation Foster (1) est assez semblable au Féry; les modifications qui y ont été apportées ont pour but de le rendre plus portatif et de supprimer la mise au point du système optique; la visée par le dispositif à miroir n'est qu'occasionnelle. Le thermo-couple, très petit, est échauffé très rapidement et l'équilibre est obtenu en 10 à 15 secondes.

Quand il y a inconvénient à laisser ouvert dans la paroi du four un orifice de 100 mm de diamètre, on peut employer un manchon de fixation combiné avec un tube réfractaire fermé à un bout. Ce manchon peut recevoir une circulation d'eau évitant la transmission de chaleur par conductibilité. Au moyen d'un écrou à oreilles, on peut retirer le tube récepteur et le replacer sans changer le pointage.

On ne s'est pas servi, pour définir l'échelle pratique, de ces pyromètres à rayonnement intégral à cause des inconvénients suivants :

1° Il y a absorption des radiations infra-rouges par CO^2 et H^2O et ces radiations constituent une partie importante du rayonnement;

2° Si l'on mesure la température de corps non noirs, la température équivalente de rayonnement intégral est plus éloignée de la température réelle que les températures d'éclat équivalent;

3° On mesure la température, à l'état d'équilibre, d'un corps suivant les radiations et se refroidissant dans des conditions qui doivent être constantes; or, dans la pratique, il est rare que ces conditions ne varient pas rapidement avec le temps.

7° Pyromètres optiques.

La mesure de l'intensité des radiations rouges émises par les corps incandescents peut être utilisée pour la détermination des températures. Ces radiations sont les premières développées dans les corps incandescents et elles permettent de faire porter les mesures sur le plus grand intervalle possible de températures.

Le pyromètre optique de M. Le Chatelier, construit par *Pellin* (2), comprend les parties suivantes (fig. 36 et 36bis) :

1° Un dispositif donnant une image réelle de la source dont on veut mesurer la température;

2° Une source lumineuse de comparaison d'éclat connu, son image est juxtaposée ou superposée à celle des corps que l'on étudie;

3° Un oculaire muni d'un verre monochromatique rouge pour l'observation simultanée des deux images;

(1) Présenté par G. Raulin, 121, Chemin des Pins, à Lyon.
(2) Ph. et F. Pellin, 5, Avenue d'Orléans, Paris.

4° Un diaphragme œil de chat dont on peut mesurer l'ouverture et qui sert à égaliser l'éclat des deux images;

5° Une série de verres absorbants neutres, de pouvoir absorbant connu, que l'on peut placer sur le trajet des rayons lumineux, les variations de l'intensité des radiations lumineuses sont, en effet, extrêmement rapides et se trouvent dans le rapport de 1 à 1.000.000 entre 600° et 1.800°.

Pour faire une observation au moyen de cet appareil, on règle le miroir porté à cet effet par 3 vis. Le faisceau lumineux de la lampe réfléchi par le miroir et celui de l'objet visé doivent pénétrer intégralement dans l'œil. Il faut donc que les images données par l'oculaire des deux objectifs se superposent. Quand la superposition n'existe pas, on la rétablit par tâtonnement, en agissant sur les vis qui fixent le miroir. S'il ne reçoit pas de choc, l'appareil peut ainsi rester indéfiniment réglé.

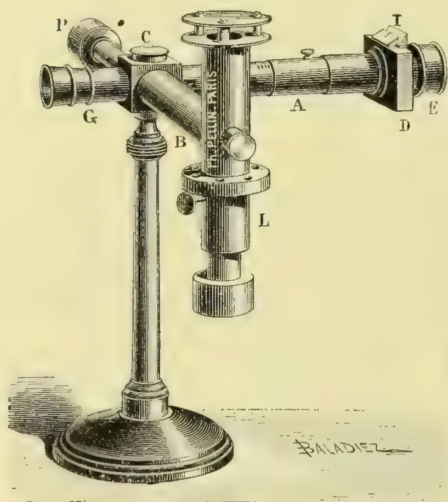


Fig. 36. — Pyromètre optique Le Chatelier (vue d'ensemble).

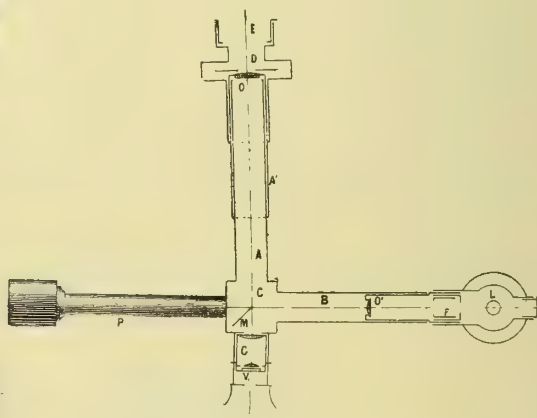


Fig. 36 *bis*. — Pyromètre optique Le Chatelier (coupe longitudinale).

La lampe de comparaison, alimentée en essence de pétrole de composition constante, doit donner une flamme de hauteur constante, égale, par exemple, à la hauteur de la fenêtre du diaphragme rectangulaire placé devant la flamme. Son image doit être exactement coupée en deux par l'arête du miroir.

Au bout d'une dizaine de minutes, quand la flamme présente un éclat constant, on vise l'objet lumineux de telle manière que son image soit coupée par l'arête du miroir et amenée en contact avec l'image de la flamme. On fait varier l'ouverture de l'œil de chat pour obtenir l'égalité des deux images.

L'intensité cherchée est égale au rapport inverse de l'ouverture superficielle de l'œil de chat; elle est donnée par la formule :

$$I = \left(\frac{n'}{n}\right)^2$$

dans laquelle n représente le nombre de divisions lues sur l'échelle qui indique l'ouverture correspondante de l'œil de chat et n' le nombre de divisions obtenues en visant la source de lumière prise comme étalon. Quand on doit se servir pour compléter l'action du diaphragme, de verres foncés absorbants, il faut commencer par déterminer leur coefficient d'absorption, en visant un objet d'intensité appropriée, à travers le verre foncé placé devant l'œil de chat.

M. Le Chatelier avait établi, par comparaison avec son couple thermo-électrique, la relation empirique suivante entre l'intensité de la radiation rouge vue à travers l'appareil et la température de la source qui l'émettait :

$$I = 10^{6,7} T^{-\frac{3210}{T}}$$

Elle ne s'applique qu'au rayonnement du corps noir, radiateur intégral; les corps ne rayonnant pas intégralement, donnent, pour une même température, une intensité de rayonnement moindre que l'on peut représenter par l'intensité de rayonnement du corps noir, multipliée par un nombre inférieur à 1 appelé pouvoir émissif.

Le pyromètre optique employé pour la détermination des températures de 500° à 2.000° est exact à quelques degrés près, dans le bas de l'échelle et à quelques dizaines de degrés pour les températures élevées.

Le pyromètre à absorption de M. Ch. Féry se compose (fig. 37) :

1° D'une lame absorbante, d'épaisseur variable, constituée par deux prismes de verre de même angle P et P' pouvant glisser l'un sur l'autre;

2° D'une lampe de comparaison L ;

3° De deux lentilles l et l' donnant en G des images du corps chaud et de la flamme de la lampe, un prisme R à réflexion totale renvoyant en G, les rayons émis par la flamme;

4° D'une glace inclinée à 45° présentant, face aux prismes, une bande verticale argentée laissant passer le faisceau émis par le corps chaud à travers les parties latérales non argentées et réfléchissant sur la bande centrale celui qui provient de la lampe;

5° D'une lentille chargée de redresser les deux images;

6° D'un oculaire O' muni d'un verre rouge monochromatique *m*.

Les deux images doivent aussi se superposer et il faut pour cela que les distances de l et l' à G soient égales.

Un diaphragme d limite à un angle constant le cône des rayons formant l'image.

On n'utilise que l'image de la partie centrale de la flamme, ce qui rend les mesures indépendantes de ses dimensions. A cet effet, on amène d'abord l'image

de la flamme à être symétrique par rapport à la bande argentée; ce réglage est fait une fois pour toutes par le constructeur.

L'instrument étant ainsi réglé, on vise le corps dont on veut déterminer la température. Pour faciliter cette visée, on amènera le point à viser dans le prolongement de la ligne de mire constituée par un cran de hausse découpé dans le bord supérieur du disque D et un guidon formé par une pointe fixée au centre de la boîte A contenant les prismes absorbants.

En faisant alors tourner le corps de la lunette AB autour du tube C' auquel est fixé le pied, on amènera facilement l'image du corps visé à occuper le centre optique de l'instrument. Une pièce D qui sert en même temps de contrepoids, protège l'œil contre la lumière émise directement par le corps chaud. Dans le champ de la lunette on voit alors la bande argentée éclairée par la lampe et, de part et d'autre, l'image du corps chaud. On déplace l'un devant l'autre les deux prismes jusqu'à ce que ces deux images aient le même éclat.

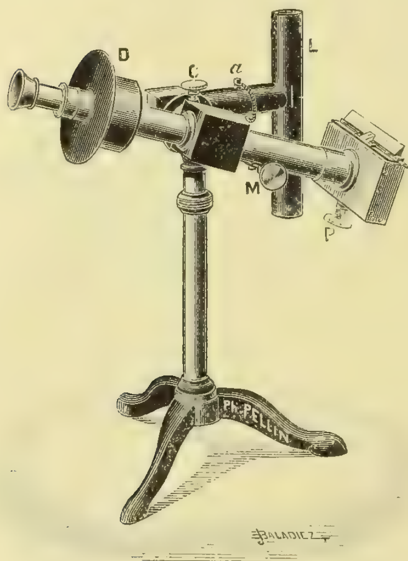


Fig. 37. — Pyromètre à absorption de Féry.

Les prismes, en se déplaçant, entraînent avec eux, l'un une échelle horizontale, l'autre un index. On lit la division en face de laquelle se trouve l'index et on cherche sur une courbe la température correspondante.

Pour tracer cette courbe, on porte en abscisses les déplacements de l'échelle, par rapport à l'index (déplacements proportionnels à l'épaisseur de verre traversée) et en ordonnées, les inverses des températures absolues : on a ainsi une droite qui peut être prolongée indéfiniment; en prenant alors comme ordonnées les températures vulgaires, on obtient une hyperbole qui est la courbe pratique de l'instrument.

L'appareil Wanner (1) est assez semblable au pyromètre Féry; l'intensité de la lumière y est réglée par deux nicols croisés.

Le pyromètre optique de la Cambridge and Paul Instrument C° (fig. 38) est basé sur les mêmes formules que les appareils précédents, mais son maniement est très simple et les lectures peuvent être faites par un ouvrier sans

(1) Présenté par les Établissements Izart.

connaissances spéciales. On peut le considérer comme une espèce de photomètre.

En tournant l'oculaire, on règle à la même intensité un faisceau de lumière monochromatique provenant d'une lampe à incandescence et un faisceau de lumière analogue provenant du corps chaud dont la température est à déterminer. Les mesures ne dépendent pas des différences de teintes des deux sources, mais de leur intensité.

Il est nécessaire d'avoir, pour cet appareil, une lampe dont le filament donne

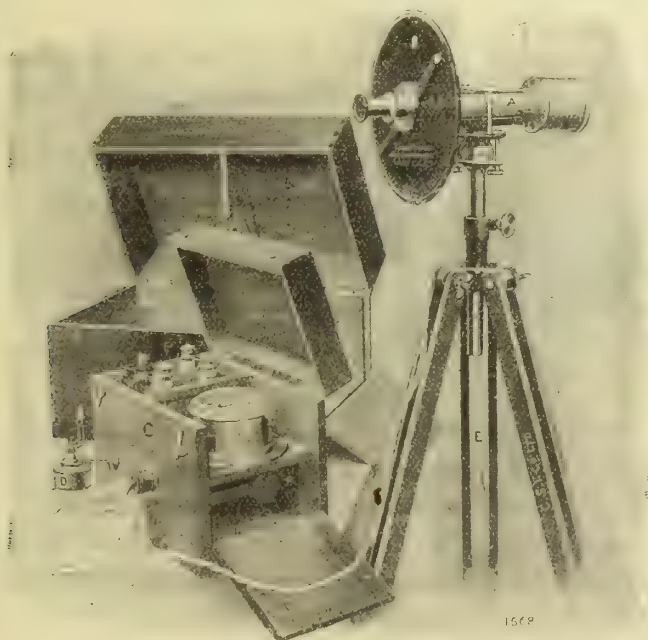


Fig. 38. — Pyromètre optique Cambridge.

longtemps le même éclat pour la même intensité de courant; on maintient cette intensité uniforme au moyen d'un rhéostat muni d'un ampèremètre et, pour compenser la détérioration graduelle de la lampe électrique, on l'étalonne de temps en temps au moyen d'une lampe étalon à l'acétate d'amyle. Cet étalonnage correspond à une nouvelle indication de l'ampèremètre qui est corrélative de la véritable illumination.

La partie antérieure de l'appareil possède deux petites ouvertures; la radiation de l'objet dont on veut mesurer la température entre par l'une de ces ouvertures alors que la lumière provenant de la lampe à acétate d'amyle passe par l'autre. En traversant un système de lentille et de prismes, ces faisceaux de lumière sont polarisés dans des plans différents et sont rendus monochromatiques; ils passent

alors par un oculaire simple. L'observateur voit alors un champ lumineux circulaire partagé en deux demi-cercles, dont l'un prend l'image du corps chauffé et l'autre est illuminé uniformément par la lampe électrique. On règle les intensités lumineuses des deux demi-cercles, en tournant l'oculaire qui porte l'aiguille de l'échelle et l'on fait la comparaison des rayons à mesurer avec ceux d'intensité connue provenant de la lampe électrique. La position finale de l'aiguille indique la température du corps visé.

Certains appareils modernes emploient un dispositif légèrement différent des précédents, suggéré par Morse : la lampe de comparaison est à intensité variable et, au moyen d'un rhéostat, on en fait varier l'éclat jusqu'à ce que le filament disparaisse sur l'image du corps étudié. Si les deux corps sont des radiateurs intégraux, ils sont alors à la même température et, pour connaître cette tempé-

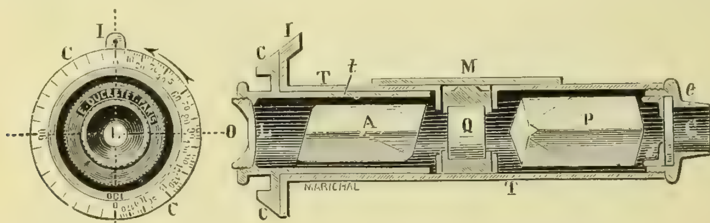


Fig. 39. — Lunette pyroscopique de Mesuré et Nouel.

rature, il suffit d'avoir, une fois pour toutes, mesuré la température de la lampe en fonction de l'intensité du courant électrique qui la traverse.

Pour qu'il soit possible de construire un pyromètre sur ce principe, il faut naturellement que le filament de la lampe soit un radiateur intégral, c'est-à-dire un corps noir et qu'il puisse donner très longtemps le même éclat pour une même intensité de courant. Le filament de charbon allait assez bien pourvu qu'on ne le forçât pas trop; on lui a substitué le filament de tungstène qui ne se sublime pas, dépense moins de courant pour un même éclat, prend plus rapidement la température de régime, et a un pouvoir émissif voisin de l'unité et sensiblement indépendant de la longueur d'onde.

Le pyromètre spectral de Kenning se compose essentiellement d'un télescope de visée au foyer duquel se trouve la lampe à intensité réglable mesurée au milliampèremètre. La sélection des longueurs d'onde est opérée au moyen d'un dispositif spectrométrique.

Comme pour le pyromètre à télescope à diaphragme basculant, on interpose, lorsque la température devient trop élevée pour la lampe, un disque à secteur qui réduit la quantité de lumière provenant de la source.

La lunette Mesuré et Nouel (1) (fig. 39) est un pyroscope sélectionnant la

(1) Présentée par Roger (anciennement Ducretet).

teinte sensible au moyen de nicols croisés et d'un quartz perpendiculaire à l'axe, d'épaisseur convenable. L'angle de rotation de l'appareil qui fait apparaître cette teinte sensible, varie avec la composition de la lumière et par suite avec la température du corps; il est d'autant moindre que la température est moins élevée. Il est nécessaire que cet appareil soit manié par un observateur exercé, ayant sur la rétine l'impression de la teinte sensible.

8° **Pyromètres à résistance électrique.**

Ces appareils mesurent la variation de la résistance électrique d'un fil de platine en fonction de la température. Ces variations sont de 1,39 O de 1° à 100° et de 4,4 O de 0° à 1.000°.

Cette méthode pyrométrique avait été proposée par *Siemens*, mais l'altération du platine était très rapide et la résistance du pyromètre augmentait vite à l'usage. *Callendar et Griffiths* démontrèrent que cette altération provenait du contact avec les cylindres de terre sur lesquels le fil de platine était enroulé.

On emploie maintenant des supports de mica et ces thermomètres sont réservés aux températures inférieures à 550° qu'ils peuvent mesurer d'une façon extrêmement précise.

Pour la construction de ces appareils, il y a cependant des précautions à prendre : il faut, par exemple, ne chauffer aucune soudure du platine avec un autre métal, pour éviter les effets thermo-électriques; il faut aussi éliminer la variation de résistance de la partie chauffée des conducteurs qui relient le fil thermométrique aux instruments de mesure.

Les pyromètres à résistance de la Cambridge scientific Instrument C° (fig. 40) sont constitués principalement par un fil de platine fin enroulé sur un support en mica et contenu dans un tube protecteur mis en contact avec le corps chaud. Le fil de platine est relié directement à un indicateur de température du système Whipple qui est une forme spéciale d'un pont de Wheatstone complétée avec une batterie d'accumulateurs et un galvanomètre; le tout est placé dans la même caisse.

L'influence de l'échauffement des conducteurs auxiliaires qui relient le fil chauffé à l'appareil indicateur est éliminée au moyen de fils compensateurs dont on distribue un nombre égal dans les deux bras du pont.

La mesure d'une température comprise entre 0° et 1.000° peut être effectuée en 2 ou 3 minutes à un degré près.

Pour avoir un appareil encore plus précis et à indications continues, le fil de platine chauffé est intercalé comme pont de Wheatstone et on emploie un *enregistreur* de *Callendar* dans lequel le déséquilibrage du pont, par suite de l'échauffement du fil de platine, est constamment évité, grâce à la suppression automa-

tique d'une résistance équivalente à la variation de résistance du fil dans la branche contiguë du pont. Le mouvement du curseur qui produit ce réglage est enregistré automatiquement sur un tambour.

La Compagnie anglaise *Foster* (1) construit également des thermomètres électriques à résistance très bien compris qui combinent, à la haute précision du pont de Wheatstone, l'avantage d'une lecture simple et permanente d'un ohmmètre gradué directement en degrés de température. Les manipulations et ajustements nécessaires dans la mesure des résistances électriques sont ainsi évités. Cette maison n'établit les modèles normaux pour usages industriels que jusqu'à 360°

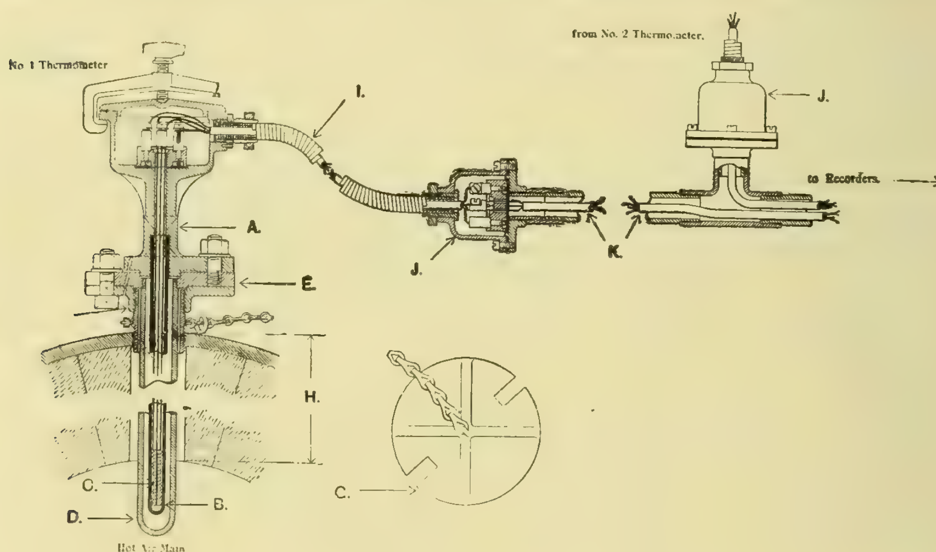


Fig. 40. — Pyromètre à résistance Cambridge.

seulement car, à cette température, le pyromètre à thermocouple devient suffisamment précis et est d'un emploi beaucoup plus commode.

Pour la mesure des températures inférieures à 300°, il est construit des *appareils à résistance de nickel* beaucoup moins coûteux.

9° Pyromètres thermo-électriques.

On savait depuis longtemps déjà qu'une soudure de deux métaux chauffée devient le siège d'une force électromotrice. Celle-ci est, dans certaines conditions, fonction de la température seule.

C'est Becquerel (1830) qui, le premier, imagina d'employer cette force électromotrice à la mesure des températures, mais les études de Regnault semblèrent prouver que ce procédé était inexact. Ce ne fut que vers 1885 que M. le Chatelier

(1) Représentée par M. Raulin, 121, Chemin des Pins, à Lyon.

montra que les irrégularités observées étaient dues presque uniquement à des courants parasites produits dans des fils de métaux non homogènes. Il recommanda l'emploi, pour les hautes températures, d'un couple platine — platine rhodié 10 p. 100 avec un galvanomètre ayant une résistance intérieure de 200 ohms au moins pour rendre négligeable, devant la résistance du circuit, la variation de résistance des fils du couple avec la température.

La force électromotrice du couple est indépendante du mode de jonction et l'on peut soit tortiller, soit souder les deux fils mais, en pratique, la soudure est à peu près indispensable car, sous l'action de la chaleur, les spires enroulées se desserrent rapidement et l'on peut s'exposer à faire toute une série de mesures fausses avant d'arriver à une solution de continuité complète. La meilleure soudure est la soudure autogène par fusion directe des fils du couple

On construit communément les couples suivants destinés à la mesure de différentes températures de l'échelle :

Cuivre-Constantan,	jusqu'à 500°.
Fer-Constantan,	jusqu'à 900°.
Nickel-nickel chrome,	jusqu'à 1.200°.
Platine-platine rhodié 10 p. 100,	jusqu'à 1.400°.
Iridium-iridium à 10 p. 100 ruthénium	jusqu'à 1.800-1.900°.

Ce dernier couple est d'un maniement très délicat à cause de sa fragilité et n'a guère été utilisé qu'au laboratoire. La température de la soudure froide, point où les fils du couple sont rattachés aux conducteurs souples, agit sur le courant engendré et on doit en tenir compte. Avec la plupart des appareils on cherche à maintenir cette température constante au voisinage de 15° pour n'avoir aucune correction à faire. D'autres pyromètres sont munis de compensateurs automatiques. Pour éviter les erreurs dues à l'échauffement de la soudure froide et obtenir une très grande précision, il faudrait, dit M. Le Chatelier «... réaliser des circuits complètement homogènes, y compris le galvanomètre, à la seule exception des deux jonctions des fils de platine avec les conducteurs; celles-ci devraient être immergées dans un même bain à température constante. Il faudrait pour cela que les constructeurs de galvanomètres s'astreignent à employer un même maillechort pour toutes les parties de l'appareil, fils du cadre, fils de suspension, fils conducteurs et pièces du cadre ».

Pour graduer les couples thermo-électriques il peut suffire d'avoir deux points fixes pourvu qu'ils soient assez écartés l'un de l'autre et qu'on les choisisse dans la région de l'échelle des températures que l'on se propose de mesurer le plus souvent; mais, en pratique, on utilise pour la graduation un plus grand nombre de points.

Le graphique de la figure 39 donne un certain nombre de courbes d'étalonnages

obtenues au laboratoire de l'O. C. C. R. avec des couples nickel, nickel chrome et quelques courbes obtenues avec des alliages spéciaux préparés par les Aciéries d'Imphy : ATE-BTE et BTE-CTE.

Des pyromètres à canne thermo-électrique sont construits par la *Compagnie des Compteurs, MM. Chauvin et Arnoux, Pellin, Poulenc, Maxant, Alexander Wright, Foster,* par la *Société Cambridge and Paul,* etc., et l'on a pu voir, à l'Exposition de l'Office de Chauffe, la plupart de ces appareils.

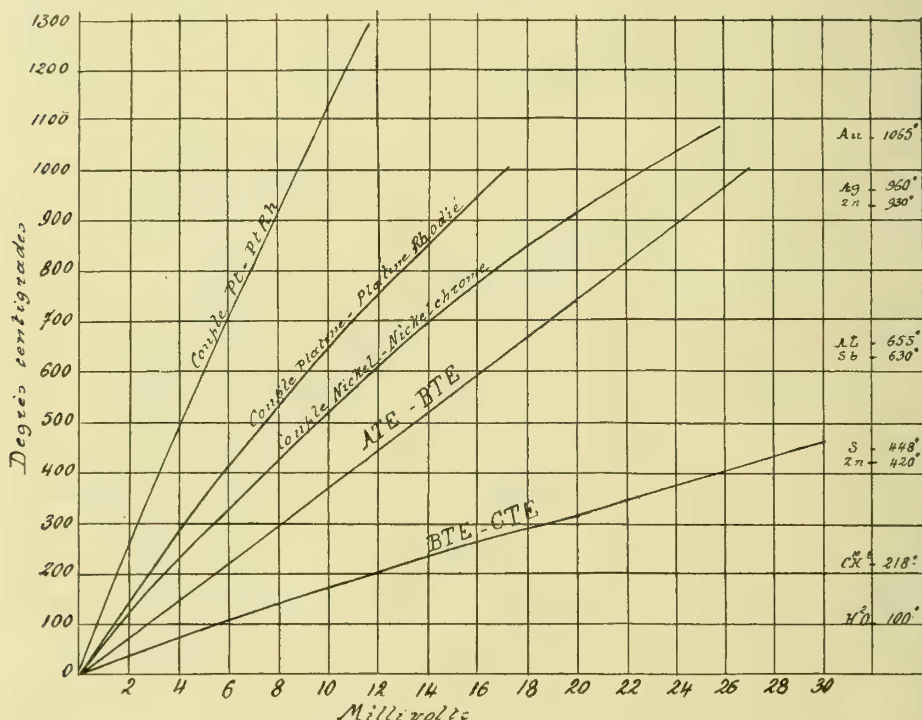


Fig. 41. — Graphique indiquant les courbes d'étalonnage de quelques couples usuels et les températures habituellement prises comme points de repère.

Les cannes pyrométriques de la Compagnies des Compteurs possèdent des couples interchangeables appropriés aux différentes mesures à effectuer; l'isolement des fils est fait au moyen de perles (au-dessous de 800°) ou de tubes de silice (vers 1.100° à 1.400°); le tout est préservé par un tube protecteur en fer, acier, nickel, silice ou graphite, suivant les températures à mesurer et la nature des corps chauds.

Les appareils présentés par les différents constructeurs ne diffèrent que par quelques détails : les **pyromètres Chauvin-Arnoux**, par exemple, sont également construits avec canne en fer, nickel ou silice, avec couples fer-constantan, nickel-nickel chrome, platine-platine rhodié; les cannes ont différentes longueurs selon

les cas et peuvent être munies d'une poignée en ébonite renfermant la soudure froide dont la température est indiquée par un petit thermomètre.

Les galvanomètres habituellement employés sont analogues aux voltmètres de l'industrie. Ceux de Chauvin et Arnoux, par exemple, sont basés sur le principe d'un cadre galvanométrique mobile dans un champ magnétique produit par un aimant permanent et constitué par une couronne de fil sertie entre deux bagues concentriques de cuivre pur. Ces bagues constituent un amortisseur électro-magnétique très énergique qui permet à l'aiguille indicatrice d'atteindre sans oscillations bien qu'avec exactitude sa position d'équilibre. La permanence de l'étalonnage de ces appareils est due à la très faible force magnétomotrice développée par le courant traversant les spires du cadre mobile et qui est sans action appréciable sur l'aimant permanent. Avec les galvanomètres apériodiques ainsi construits, les lectures sont précises et rapides et peuvent être faites dans toutes les positions de l'appareil.

Les galvanomètres de la Maison Chauvin et Arnoux sont livrés pour être adaptés sur tableau ou dans une boîte de bois portative. Il existe, pour les pyromètres destinés aux températures élevées, des galvanomètres à suspension très sensibles et, pour les déterminations continues, des enregistreurs satisfaisant à tous les emplois. Le diagramme est obtenu par points successifs, très rapprochés, sur une bande de papier divisée, de 10 m de longueur, se déroulant à raison de 10 mm par heure.

Tous les constructeurs ci-dessus mentionnés fournissent avec des modifications de détail ces divers appareils. Le *galvanomètre de la Cie des Compteurs* est du type à double pivot et ne comporte pas, lui non plus, de vis calantes; il possède deux graduations : l'une rouge représente les millivolts nécessaires pour obtenir avec des cordons de résistance nulle, la déviation de l'aiguille; l'autre noire indique en degrés les différences de température entre le galvanomètre et l'élément thermo-électrique, les cordons faisant partie de l'étalonnage en température. Les **pyromètres thermo-électriques Foster** sont à base d'alliages brevetés Hoskins; ils possèdent une grande résistance à l'action destructive de la chaleur; les rechanges sont interchangeables sans étalonnage spécial et la jonction froide est maintenue à une température constante, indépendante de la variation de température au voisinage du four, au moyen d'une extension compensatrice formée des mêmes alliages que le couple.

La *Cambridge and Paul Instrument Co* construit, elle aussi, divers types de pyromètres thermo-électriques. Nous citerons entre autres son modèle pour locomotives, bien protégé mécaniquement contre les chocs et extrêmement sensible. L'indicateur correspondant à ce pyromètre est, lui aussi, très robuste; son système mobile consiste en une bobine montée entre des pivots doubles fonctionnant

dans des paliers à bijoux. Tous ces pyromètres peuvent être montés en série avec un seul galvanomètre pour une suite de cannes; on peut aussi avoir un enregistreur donnant à la fois des observations pour plusieurs couples. Les couples sont différenciés par différentes couleurs imprimées à intervalles réguliers, par l'action d'un levier, sur des fils imprégnés d'encres et des différences dans la loi de ponctuation des courbes.

Conclusion.

De l'exposé qui précède il ressort donc que :

Les basses températures de 0° à 500° doivent être mesurées au moyen des thermomètres à dilatation de liquides, gaz ou vapeurs ou des pyromètres à résistance.

Le couple thermo-électrique doit être adopté pour l'échelle de 500° à 1.200°, parce qu'il est très robuste et suffisamment précis; la facilité avec laquelle on peut le manier le fait aussi adopter pour les températures inférieures à 500° auxquelles il est moins précis.

Les pyromètres à radiations (optiques ou calorifiques) sont les seuls utilisables aux températures auxquelles tous les corps se détériorent plus ou moins. Il est cependant difficile de connaître les températures avec une grande précision vers 1.500°, dans les fours de fusion du verre ou de l'acier, à cause de l'ignorance dans laquelle on est encore des pouvoirs émissifs et réfléchissants.

III. — INDICATEURS ET ENREGISTREURS DE PRESSIONS ET DÉPRESSIONS

Pour régler la quantité d'air nécessaire à la combustion, il faut connaître exactement la différence de pression au-dessous et au-dessus du foyer, donc la valeur du tirage ou du soufflage et même quelquefois le débit de l'air insufflé. Ces différences de pressions sont généralement faibles, surtout avec les grilles ordinaires et, si l'on ne désire pas un contrôle continu et enregistré du travail, il peut suffire d'adapter au foyer de simples manomètres à eau.

Le manomètre à eau « Usco » de l'*Underfeed Stoker C°*, présenté par la *Société anonyme des Foyers automatiques de Roubaix*, opère le contrôle simultané du tirage des foyers en trois points : 1° sous la grille; 2° dans la chambre de combustion; 3° à la cheminée. La graduation des trois manomètres de cet appareil est portée par un flotteur taré de telle sorte que le zéro concorde toujours avec le niveau de l'eau au repos. La condensation ou l'évaporation n'ont ainsi aucune influence sur la situation du zéro de la graduation. Un éclairage électrique rend les observations faciles, même à distance, car le niveau est rendu très apparent par la réfraction de la lumière qui produit une ligne brillante devant la graduation.

Le manomètre à eau à tubes verticaux est cependant très peu précis et, pour pouvoir apprécier plus facilement des variations de 1 mm, on construit des manomètres à tubes inclinés très sensibles.

Manomètres à tubes inclinés. — Avec ces appareils, les variations de niveau sont amplifiées une dizaine de fois et la lecture sur règle graduée devient alors très facile. Cependant le zéro se déplace très rapidement et malgré l'emploi d'une réglette mobile, le réglage est plutôt difficile. Divers constructeurs français présentent ces appareils, les *Etablissements Poulenc* notamment.

Le déprimomètre différentiel « Alba » (fig. 42) donne lui aussi les dépressions

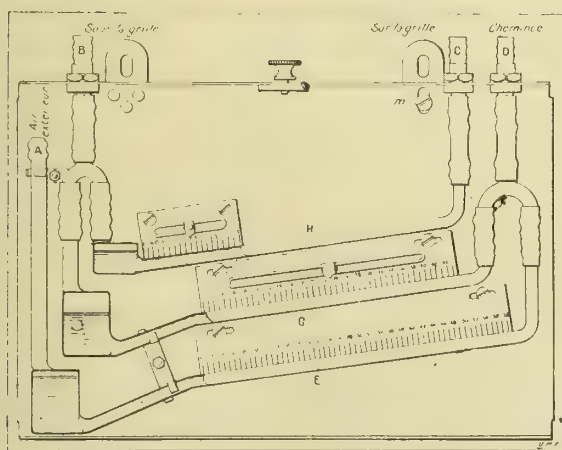


Fig. 42. - Déprimomètre différentiel Alba.

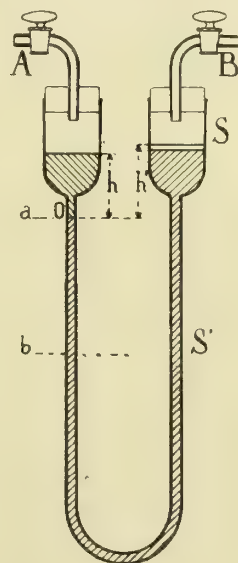


Fig. 43. — Manomètre à deux liquides non miscibles.

en trois points : trois tubes inclinés munis de réglettes mobiles sont reliés comme l'indique la figure 40, à l'air extérieur en A, sous la grille en B, sur la grille en C et à la cheminée en D. Les différents tubes qui composent cet appareil possèdent un fond blanc qui facilite la vision des ménisques. Le tout est placé dans un support en tôle mince. Cet appareil peut donc permettre de se rendre compte des conditions de tirage d'une chaudière. Il indique si la perte de charge à travers les tubes n'est pas trop forte par suite d'un amoncellement de suie ou de cendres; si les massifs sont étanches; si la grille est bien couverte et si le décrassage a été convenablement conduit.

Manomètres à deux liquides non miscibles. — Ces appareils (fig. 43) sont plus sensibles que le manomètre à eau et leur lecture est plus facile qu'avec le manonètre à tube incliné. Ils se composent d'un tube en U de section S' dont les

deux extrémités sont terminées par des cylindres de section S fermés par des bouchons munis de tubes de raccord.

Cet ensemble est rempli par deux liquides miscibles et de teintes différentes : par exemple du pétrole et de l'alcool coloré par de la fuchsine.

Quand la pression est égale en A et B, le plan de séparation, très apparent à cause de la couleur de l'un des liquides, se trouve en A ou O. Si la pression en A devient plus forte de 100 mm du liquide introduit, le volume de liquide déplacé entraînera le plan de séparation beaucoup plus bas, en b par exemple, en amplifiant ainsi considérablement la lecture du manomètre.

La graduation d'un tel système peut se faire à l'aide de la formule suivante qui permet de connaître ab :

$$ab = \frac{p}{d - d' + \frac{S'}{S}(d + d')}.$$

p est la pression exercée sur S ;
d, la densité du 1er liquide ;
d', la densité du 2e liquide ;
S', la section des tubes ;
S, la section des cylindres.

Des appareils de ce type étaient présentés par les *Établissements Poulenc* et la *Société anonyme Integra* de Liége.

Manomètres à éléments anéroïdes. — Un grand nombre d'appareils de cette catégorie figuraient à l'Exposition de l'Office de Chauffe, présentés par *M. Richard, M. Maxant, M. Alexander Wright, la Société anonyme Integra, la Société Cambridge.* Ces appareils, analogues aux baromètres anéroïdes, sont trop connus pour que nous les décrivions en détail. Les éléments anéroïdes, beaucoup plus sensibles, sont composés d'une série de boîtes accolées, à parois ondulées, dont toutes les déformations sont amplifiées par des leviers et transmises à l'aiguille d'un indicateur ou d'un enregistreur. Ces appareils sont en général très sensibles (ceux d'Alexander Wright le sont d'une façon remarquable). Avec tous ces déprimomètres secs, cependant, les déformations ne sont pas indéfiniment constantes.

Déprimomètres à cloches immergées. — Les déprimomètres à cloches immergées sont maintenant d'un emploi courant dans les chaufferies où ils sont chargés, avec ou sans l'office des analyseurs de CO^2, de tout le contrôle de la chauffe. Un déprimomètre enregistreur peut en effet indiquer d'une façon constante la fréquence et la qualité des chargements, l'uniformité de la couche de combustible, les rentrées d'air, les ouvertures de portes avec ou sans fermeture du registre, les périodes de décrassage et la vitesse d'encrassement des grilles. Ce doit être pour le chauffeur un guide éducateur aux observations immédiates.

La plupart des industriels comprennent que c'est en réglant convenablement l'air introduit au foyer que les économies sont le plus facilement réalisables.

Nous ne décrirons pas spécialement tous les déprimomètres actuellement construits et qui figuraient pour la plupart à l'Exposition de l'O. C. C. R.; leur principe est très connu : une cloche plongeant dans un liquide est maintenue à une position O par un flotteur quand les pressions sont égales à l'intérieur et à l'extérieur. L'intérieur est mis en communication, par un tuyau, avec un milieu au-dessous de la pression extérieure; la cloche s'enfonce et le volume peu à peu immergé du flotteur est calculé de telle manière que le mouvement de la cloche correspondant à la dépression et transmis par un levier amplificateur à une plume mobile, vient s'inscrire en millimètres d'eau sur un diagramme enroulé sur un tambour.

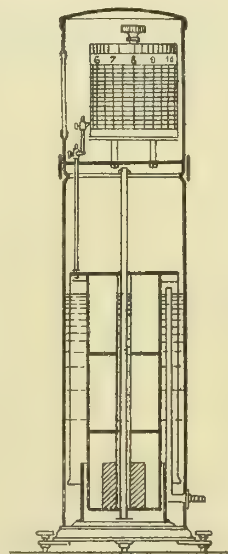


Fig. 44. — Coupe d'un déprimomètre à cloche.

Les déprimomètres *Izart, Martin, Kater et Ankersmit, Intégra, Van Houtte* sont tous construits sur ce principe et diffèrent par les détails de construction.

Quand on doit employer un déprimomètre pour contrôler une chaudière à tirage naturel, il convient d'adapter le tuyau de prise à 50 cm environ au-dessus du plan de grille. Pour le soufflage, ce tuyau doit être placé à 25 cm au-dessous du plan de grille. Avec le soufflage, il est préférable d'employer des déprimomètres différentiels qui donnent la différence de pression entre le dessous et le dessus de la grille; on se rend ainsi très facilement compte de la perméabilité plus ou moins grande de la couche de charbon.

Ce procédé a l'inconvénient de ne faire connaître ni la valeur du soufflage ni celle de l'aspiration; il est cependant indispensable de connaître le tirage que, avec le soufflage des grilles, on doit réduire au minimum. C'est pour remédier à cet inconvénient que la plupart des constructeurs fournissent des appareils à deux observations sur le même diagramme ou sur des diagrammes juxtaposés. La valeur de la différence des pressions est rapidement calculée. La maison Izart construit même un déprimomètre triplex.

Les figures 45 à 47 représentent des diagrammes obtenus dans différentes conditions avec les déprimomètres. Les diagrammes 45, 46 et 47 proviennent de déprimomètres simples indiquant seulement le tirage. On peut remarquer quelles différences énormes existent entre les divers diagrammes selon que la chauffe a été bien ou mal conduite : les ouvertures de portes, les fermetures de registre, les chargements, les cheminées de passage d'air à travers le combusible, tout

est indiqué. Certaines parties du diagramme montrent à quelle grande régularité de marche on peut arriver en réglant la conduite de la chauffe sur cet appareil de contrôle.

Le diagramme 48 a été donné par un déprimomètre différentiel; il indique lui aussi tous les écarts de perte de charge dus à la mauvaise répartition dn

Fig. 45. — Diagramme de déprimomètre simple.

charbon sur la grille. Le diagramme 49 provient d'un déprimomètre duplex.

Certains constructeurs présentent également des *déprimomètres indicateurs* dans lesquels les mouvements verticaux de la cloche équilibrée sont directement transmis à une aiguille indicatrice se déplaçant sur cadran gradué; nous citerons entre autres les appareils *Kater et Ankersmi* et ceux de la *Société belge Intégra.*

Tous ces déprimomètres sont plus ou moins sensibles et conviennent chacun

Fig. 46. — Diagramme obtenu avec feu mal conduit.

pour des cas particuliers; certains sont extrêmement robustes, d'autres beaucoup plus précis et leurs graduations est plus concordante avec celle des manomètres à eau; mais tous sont bons pour l'industrie où il est seulement nécessaire de connaître les variations et non les valeurs exactes de la dépression.

Indicateurs et enregistreurs de débits gazeux (1).

Les appareils qui servent à mesurer les vitesses et les débits gazeux dans une

(1) Izart, *Les appareils de contrôle et de mesure*, 1913. — Lebrasseur, La mesure des débits de vent (*Chaleur et Industrie*), n° 8.

conduite sont basés sur trois méthodes différentes : la première consiste à mesurer volumétriquement le débit; la deuxième à évaluer les vitesses d'après la pression dynamique; la troisième à mesurer la perte de charge déterminée par une résistance placée dans la conduite.

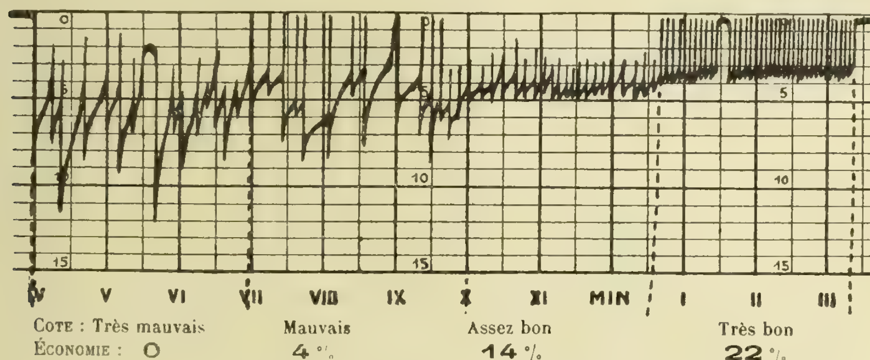


Fig. 47. — Diagramme d'un autre type de déprimomètre simple.

La première méthode est assez peu employée dans l'industrie où les débits de gaz à mesurer sont trop grands; elle est appliquée à peu près uniquement aux compteurs de gaz d'éclairage que nous n'avons pas à décrire ici. Nous aurons du reste plus loin l'occasion de parler de cette méthode avec les compteurs d'eau.

Comme appartenant à la deuxième classe d'appareils, on peut citer les anémo-

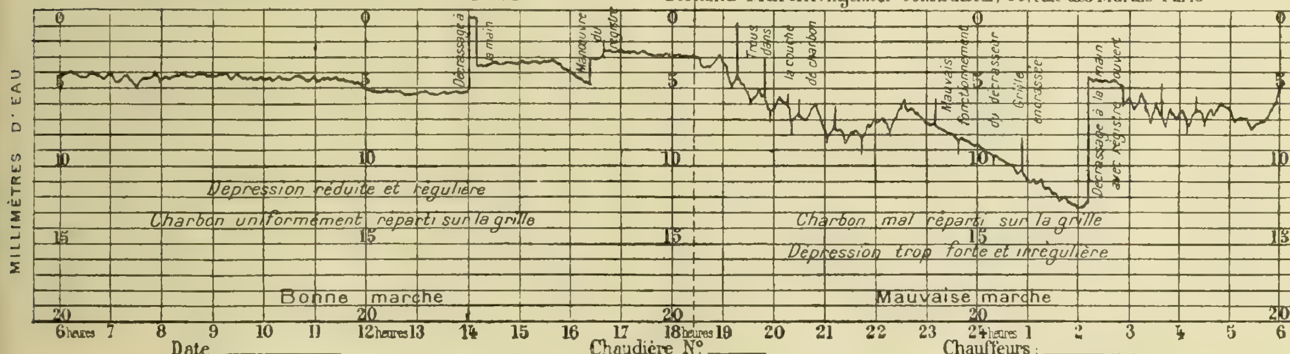


Fig. 48. — Diagramme de déprimomètre différentiel.

mètres qui ne sont plus considérés maintenant comme appareils industriels. L'emploi de ces appareils était en effet très délicat et leurs indications souvent exagérées.

Les anémomètres fonctionnent assez bien aux vitesses comprises entre 8 et 25 m : s, au-dessous de 8 m : s, les indications deviennent douteuses; au-dessus de 25 m : s, on risque d'abîmer les ailettes. Dans les conduites de

grande section, les vitesses ne sont pas les mêmes partout et il faut faire une multitude d'observations dont on prend la moyenne.

C'est la troisième méthode que l'on emploie à peu près uniquement aujourd'hui et les instruments habituellement adoptés sont les *tubes de Pitot, Darcy, Brabbée*, le *pneumomètre*, l'*ajutage de Venturi*, le *tube à diaphragme ou à registre*, etc.

Le tube de Pitot mesure la pression dynamique dépendant de la vitesse et exprimée par l'équation

$$h = \frac{v^2}{2g}$$

dans laquelle h est la hauteur de colonne manométrique. La formule doit être

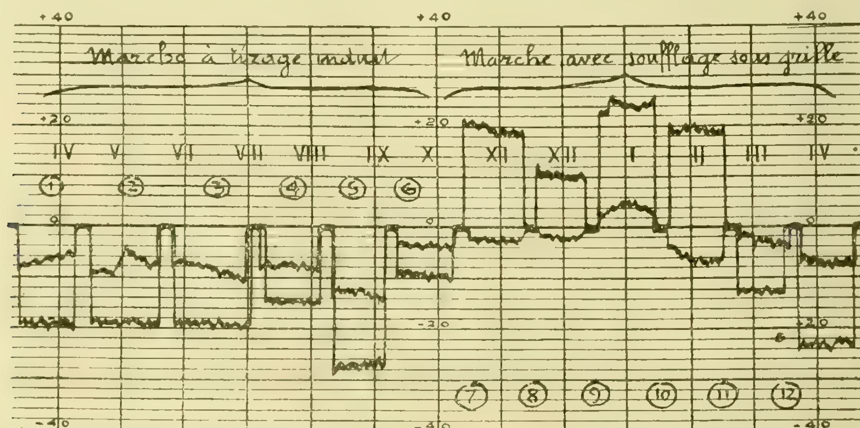


Fig. 49. — Diagramme de déprimomètre duplex.

(1) L'arrière se dégarnit (perte par l'air).
(2) Trou dans le feu (idem).
(3) La grille se charge trop (perte de charbon rejeté au cendrier).
(4) Marche économique (avec allure régulière).
(5) Marche régulière, mais excès d'air.
(6) Marche régulière, avec manque d'air.
(7) Tirage bien équilibré, marche économique.
(8) Tirage équilibré, mais avec manque d'air.
(9) Foyer en surpression (refoulement de fumée, registre de vent trop ouvert).
(10) Foyer en dépression (registres de vent et de fumée trop ouverts, excès d'air).
(11) Cendrier en dépression (registre de fumée trop ouvert, air normal).
(12) Cendrier en dépression (même défaut mais avec excès d'air).

affectée d'un coefficient correctif k dépendant de la forme de l'ajutage et des variations de vitesses. Ce coefficient est généralement 1,37 pour les gaz et vapeurs et 1,15 pour l'eau.

Le tube de Pitot mesure la somme de la pression statique et de la pression dynamique; pour avoir seulement la pression dynamique et la vitesse, Darcy a monté le manomètre adjoint à l'ajutage en différentiel (fig. 50 à 52).

La pression dynamique étant connue, la vitesse est donnée par la formule de Bernoulli.

$$v = \sqrt{2gh}$$

qui, en tenant compte du coefficient k devient :

$$v = \sqrt{\frac{2gh}{k}}.$$

Pour les fluides gazeux, si on appelle h la dénivellation du liquide manométrique, D le poids spécifique de ce liquide et d la densité du fluide gazeux aux conditions de pression et de température de l'essai, on a la formule

$$v = \sqrt{\frac{2g\,h\mathrm{D}}{kd}}.$$

La sonde Brabbée, comme le tube de Pitot-Darcy, donne la pression dynamique.

Les divers types de **pneumomètres** sont basés sur le principe suivant : on



Fig. 50. — Tube de Pitot.

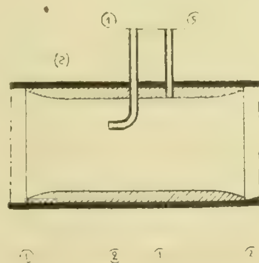


Fig. 51. — Dispositif de tube Pitot-Darcy avec étranglement.

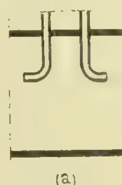


Fig. 52. — Autre dispositif de tube Pitot.



Fig. 53. — Tube à diaphragme.

introduit dans le courant gazeux un petit disque métallique formant résistance et deux petits tubes, reliés à un manomètre différentiel indiquant la différence de pression de l'avant à l'arrière du disque. Le pneumomètre de *Prandtl* et celui de *Krell* sont assez fréquemment employés.

Les tubes à diaphragme (fig. 53) sont basés sur un principe analogue mais sont pratiquement bien plus intéressants; les vitesses et les débits sont inversements proportionnels aux racines carrées des résistances des circuits traversés par le fluide.

L'écoulement des fluides gazeux à travers des ajutages calibrés est défini par la formule de Zeuner

$$\mathrm{D} = \mathrm{KF}\sqrt{\gamma(\mathrm{P} - p)}$$

dans laquelle K est le coefficient d'écoulement réglé par la forme du diaphragme, F la section transversale de ce diaphragme, γ le poids spécifique du fluide et P-p la différence de pression avant et après le diaphragme. Tous ces différents

facteurs peuvent être calculés une fois pour toutes et le manomètre différentiel donne P — p qui seul est variable.

Avec le tube à diaphragme, pour avoir P — p assez grand, il faut diminuer l'ouverture du diaphragme et l'on crée ainsi une diminution de débit.

L'ajutage convergent divergent de Venturi peut, pour une même vitesse, donner une dénivellation 15 fois plus forte que le tube de Pitot; il permet de mesurer de faibles vitesses (fig. 54 et 55).

L'emploi industriel de l'ajutage de Venturi a été très bien étudié par *M. Lebrasseur, de la Compagnie Sturtevant,* et ses différents modèles pouvaient être vus en fonctionnement à l'Exposition de l'Office de Chauffe : tube de Pitot, diaphragme, ajutage de Venturi étaient munis de manomètres très sensibles à tubes verti-

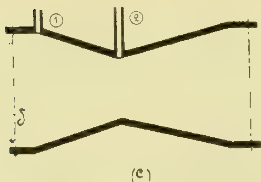


Fig. 54. — Ajutage de Venturi.

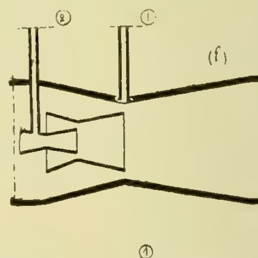


Fig. 55. — Ajutage de Venturi multiple.

caux gradués en vitesse et en débits ou à tube incliné pour les faibles vitesses. L'ajutage convergent divergent est muni de deux cônes diaphragmés spéciaux servant à mesurer exactement les pressions statiques dans les diamètres extrêmes de l'ajutage.

On dispose quelquefois plusieurs tubes de Venturi à l'intérieur l'un de l'autre comme l'indique la figure 53; la différence de pression pour un même débit est alors fortement accrue.

La *Société anonyme Intégra* livre à l'industrie une sonde de Pitot très bien comprise (1) destinée à empêcher les effets nuisibles des remous.

La mesure des débits gazeux au moyen de toutes les sondes et ajutages que nous venons de décrire brièvement n'est plus donc qu'une mesure de différence de pression entre deux points, et beaucoup d'appareils manométriques destinés aux mesures de débit sont des déprimomètres. Cependant, il faut que les débitmètres donnent une valeur exacte de la différence de pression, ce qui n'était pas absolument nécessaire pour les indicateurs de tirage avec lesquels il suffit d'enregistrer des variations.

Tous les déprimomètres dont les indications correspondent exactement à

(1) Présenté par M. Gouttier et la Société Intégra.

celles du manomètre à eau peuvent convenir aux mesures de débit et, parmi ceux qui donnent les meilleurs résultats en amplifiant sans erreur toutes les observations, nous citerons le débitmètre Intégra et le débitmètre Martin.

Les manomètres les plus généralement employés pour les mesures de débit sont les tubes manométriques à eau, verticaux ou inclinés. Outre celui de M. Lebrasseur, dont nous avons parlé plus haut, on peut citer le manomètre incliné Poulenc, le Krell, le manomètre à deux liquides, le manomètre Richard, la balance de Hirn. Pour apprécier les faibles différences de pression, peut-être le manomètre différentiel à pivot de l' « unographe » serait-il applicable avec avantages.

Le manomètre à tube incliné de l'Office de Chauffe à angle d'inclinaison variable donne aussi de bons résultats.

Nous ne décrirons pas le **manomètre enregistreur Martin** qui fonctionnait avec l'ajutage convergent divergent de M. Lebrasseur, car il diffère très peu des déprimomètres de même fabrication ; il est seulement beaucoup plus précis.

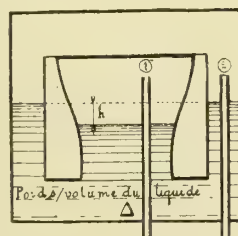


Fig. 56. — Coupe de la cloche du débitmètre Intégra.

Le débitmètre Intégra (fig. 57), peu différent, est constitué par un réservoir clos contenant un liquide sur lequel flotte une cloche soumise à l'action d'une différence de pression au-dessous et au-dessus au moyen de tuyaux de raccord correspondant à la sonde. Le plongeur de la cloche est profilé de telle manière que les déplacements sont rigoureusement proportionnels à la simple vitesse ou non pas à v^2 comme c'est le cas lorsque le plongeur est cylindrique. La vitesse est ainsi mesurée à une échelle constante et il est facile de surfacer le diagramme pour connaître le volume total débité.

Le réservoir extérieur est constitué par un cylindre en cristal A assemblé par tiges filetées et joints élastiques à un fond en métal B, et, d'autre part, à un anneau C sur lequel est vissé le couvercle D. Ce couvercle porte, suivant son axe, un tube qui plonge par son extrémité inférieure dans une cuvette F contenant du mercure et faisant corps avec le fond B.

On obtient ainsi un réservoir hermétiquement clos et la tige G, assemblée à la cloche H, peut transmettre les mouvements de celle-ci à l'extérieur.

La cloche à plongeur profilé est guidée dans ses déplacements verticaux par de petits galets et est suspendue par un fil métallique souple à une poulie tournant dans des coussinets à billes. Grâce à la cuvette de mercure, l'appareil peut s'employer dans de très larges limites de pression statique jusqu'à une atmosphère.

D'intéressantes études des mesures de débits gazeux ont également été faites

par **M. Piette** (1) et son **appareil pour la mesure des débits d'air comprimé** (2) (fig. 58) mérite d'attirer l'attention. Il se compose (3) d'un ajutage de Venturi sur lequel est adapté un manomètre à indications magnétiques construit comme suit : un tube de cuivre *a*, en forme de portion de tore, bien calibré et poli à

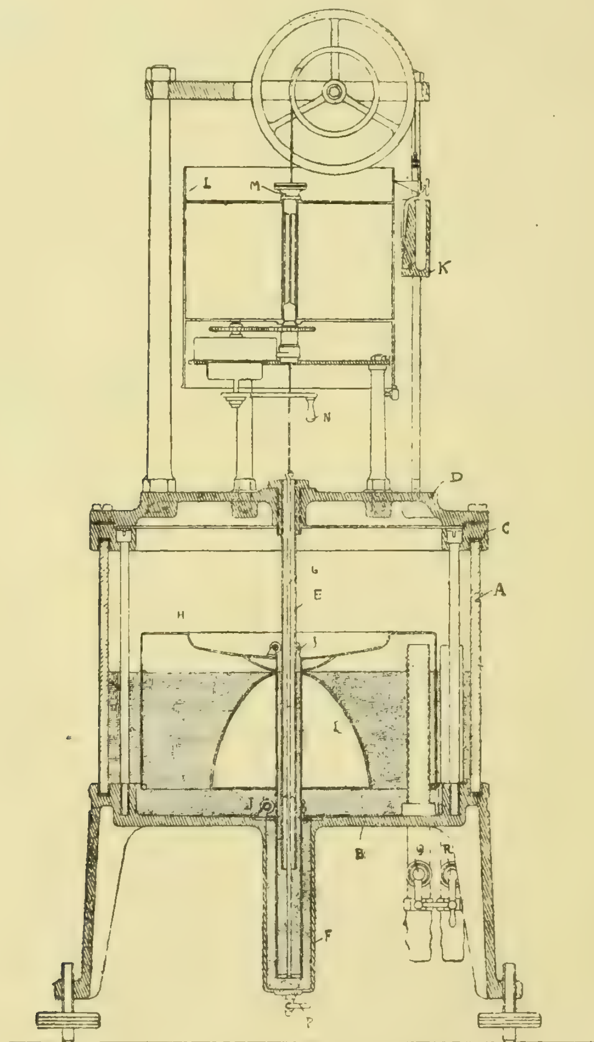


Fig. 57. — Débitmètre Intégra.

l'intérieur, communique par deux tubes aussi courts que possible, avec les points *e* et *f* entre lesquels se produit la dépression. Dans ce tube, circule librement à

(1) Voir le *Bulletin de la Société d'Encouragement* d'avril 1921, p. 322.
(2) Présenté par la Compagnie des Compteurs.
(3) PIETTE, *Nouvel appareil pour la mesure du débit des conduites d'air comprimé* (*Bulletin de la Société de l'Industrie minérale*, novembre-décembre, 1920).

frottement doux une bille d'acier g qui est soumise à la différence de pression produite par l'ajutage de Venturi.

Si l'on appelle p le poids de la bille, σ la section du tube manométrique, ω l'angle de déviation, compté à partir du rayon vertical, on voit que la bille prendra une position d'équilibre telle que :

$$h\sigma = p \sin \omega$$

et la position de la bille peut ainsi servir de mesure au débit.

Le tube a est construit en cuivre parce qu'il est impossible d'obtenir un tube de verre de cette forme suffisamment bien calibré; pour connaître les positions de la bille, on emploie un aimant dont les pôles peuvent se déplacer autour du tube de manière que la bille ferme le circuit. L'aimant est monté sur un axe O placé

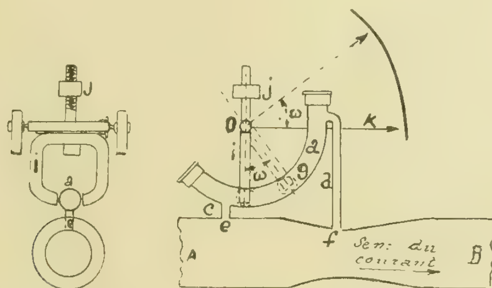


Fig. 58. — Compteur d'air comprimé Piette.

suivant l'axe géométrique du tore en cuivre et ses pôles peuvent ainsi très facilement suivre les déplacements de la bille; il supporte l'aiguille indicatrice et le tout est équilibré par un contrepoids j.

On peut avoir directement le débit en employant deux aiguilles : celle du manomètre différentiel et celle du manomètre statique. On fait circuler l'aiguille du manomètre sur le même cadran et l'on porte les graduations différentes sur les positions successives de l'aiguille manométrique : tous les points correspondants à la même valeur du débit en poids sont sur une même courbe facile à tracer par points.

Deux bouchons à vis permettent de nettoyer le tube et la bille.

Le *manomètre différentiel à mercure, à indication magnétique* construit par le même inventeur se compose d'un tube métallique en U dont la courbure inférieure est prolongée sur un arc de 250° environ et contient du mercure sur lequel surnage dans chaque branche une bille en fer B. Au repos, les deux billes se trouvent dans le plan horizontal passant par l'axe et quand il y a pression, les deux billes se déplaçant entraînent un aimant dont elles ferment le champ magnétique. C'est cet aimant qui manœuvre l'aiguille (fig. 59).

Pour que le tube soit inattaquable au mercure et aussi peu magnétique que possible, afin d'éviter la fermeture du champ par l'épaisseur du tube, on le construit avec du ferro-nickel à 25 p. 100.

Pour concentrer le champ magnétique dans le plan de l'axe de rotation, les pôles de l'aimant présentent une arête dans ce plan.

L'étranglement H situé au bas de la courbure est un dispositif de sûreté sur lequel une des billes s'applique en formant clapet quand il y a surcharge. La projection du mercure est ainsi complètement évitée. L'appareil est aussi construit avec enregistreur. L'aiguille devient alors une canne en aluminium dont la courbure est déterminée pour intercepter sur la génératrice du cylindre des ordonnées proportionnelles au débit à mesurer. Devant la génératrice du tambour enregis-

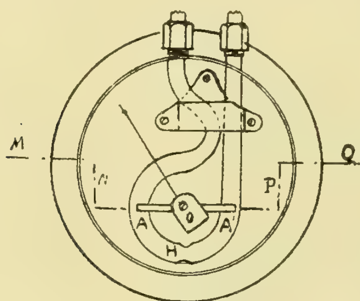


Fig 59. — Coupe schématique du manomètre Piette.

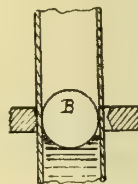


Fig. 60. — Détail du flotteur.

treur se trouve un fil tendu imprégné d'encre qu'une barre verticale, commandée par le tambour, vient périodiquement appuyer sur le papier. On obtient ainsi un diagramme qui peut être directement intégré par une mesure au planimètre.

Débitmètres à flotteur. — Les appareils à flotteurs actuellement construits sont plutôt réservés au mesurage de la vapeur et nous en parlerons plus loin; il convient cependant de citer comme indicateurs de débits gazeux les **appareils** « **Rota** » de la Deutsche Rotawerke d'Aix-la-Chapelle. Ces appareils se composent d'un tube de verre, légèrement conique à la partie supérieure, dans lequel peut s'élever à une hauteur déterminée un flotteur muni d'encoches hélicoïdales qui, lorsqu'il y a circulation de gaz ou de liquide, se meut dans l'axe du tube sans jamais adhérer aux parois (fig. 61).

Le travail est ainsi assuré sans frottement et avec une précision quasi mathématique.

Le principe de cet appareil n'est pas nouveau et il existe déjà des indicateurs de débits composés d'un tube conique et d'un disque maintenu horizontal par un dispositif d'équilibrage; l'appareil « Rota » a seulement le grand avantage de supprimer les frottements et d'être plus précis.

Quand on doit mélanger exactement deux gaz, deux appareils de ce genre sont des auxiliaires précieux et permettent de régler le mélange tout en calculant le débit. On les emploie par exemple pour la soudure autogène.

IV. — COMPTEURS DE VAPEUR

La mesure des débits gazeux se fait habituellement en volume; pour la vapeur il est nécessaire de les avoir en poids et, pour cette raison, les compteurs, bien que basés sur les mêmes principes que pour les gaz, sont un peu différents.

Le compteur de vapeur est maintenant de plus en plus apprécié par les industriels qui voient en lui un très sûr moyen de contrôle non seulement de la production, mais aussi de l'utilisation de la vapeur. Il est toujours possible de connaître la production de vapeur avec un compteur d'eau, et cela peut être suffisant pour les moteurs et turbines où le contrôle de la force employée est toujours assez facile à faire. Mais, pour certaines industries, les industries chimiques notamment, où la vapeur est employée d'une manière aveugle, le compteur de vapeur est un appareil indispensable.

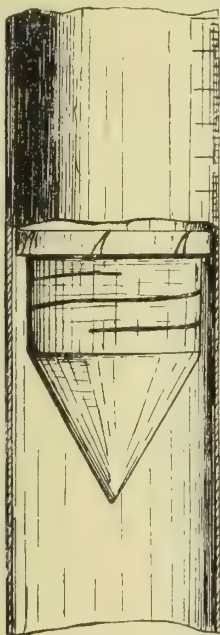


Fig. 61. — Débitmètre à flotteur Rota.

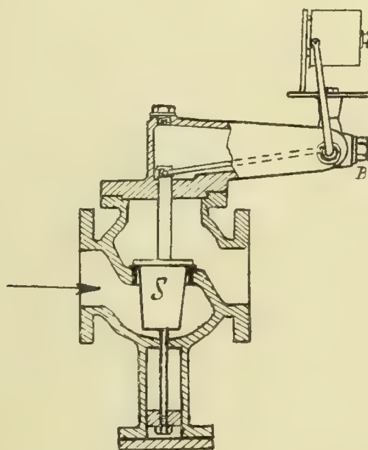


Fig. 62. — Compteur de vapeur Claassen.

Compteurs à impulsion. — Les compteurs à impulsion du genre de *moulinets de Woltmann*, les premiers imaginés, sont à peu près complètement abandonnés aujourd'hui à cause de leurs nombreux défauts : frottements, entraînements d'eau, qui agissent sur les palettes beaucoup plus lourdement que la vapeur, etc.

Compteurs à flotteur. — Dans ces appareils, une ouverture de passage proportionnelle au débit est produite par la demande de vapeur même comme cela

se passe par exemple, pour les gaz, dans les appareils « Rota ». Le plus souvent c'est un obturateur conique qui se soulève ou s'abaisse dans une ouverture conique. Il s'ouvre plus ou moins un espace annulaire par lequel se fait la circulation de vapeur, l'ouverture est ainsi proportionnelle au débit de vapeur ainsi que les déplacements de la tige supportant le flotteur; un tarage empirique peut donc permettre d'indiquer directement les débits en poids. Dans le compteur Saint-John, par exemple, le flotteur conique porte une fourchette qui commande un levier pivotant autour d'un axe. A l'extérieur de l'appareil cet axe, convenable-

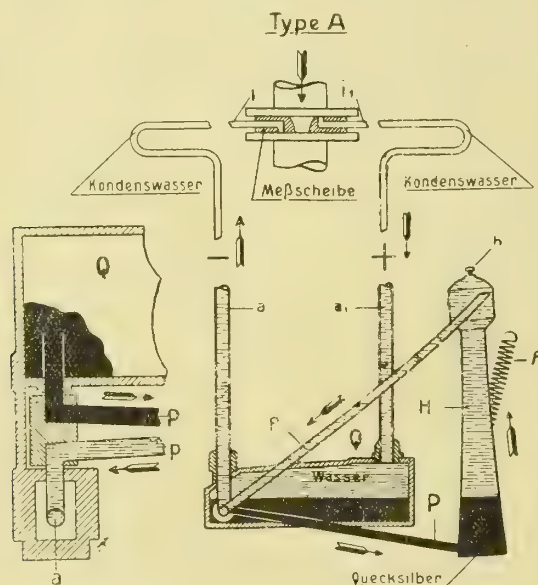


Fig. 63. — Compteur Gehre simple.

ment étanche, porte le levier inscripteur qui inscrit son diagramme sur un tambour tournant. Nous représentons sur la figure 62 le compteur Claassen.

Compteurs à diaphragmes. — Les faibles vitesses d'écoulement que l'on adopte habituellement dans les tuyauteries de vapeur rendent peu pratique l'emploi de compteurs à tube de Pitot qui a été essayé seulement par de rares constructeurs. Par contre les meilleurs types de compteurs de vapeur sont à diaphragme.

Les premiers compteurs de cette catégorie enregistraient simplement les pressions avant et après la résistance et il fallait planimétrer les deux diagrammes pour avoir l'ordonnée de la pression moyenne; on en déduisait la différence. Il est préférable d'employer un manomètre différentiel.

Le **compteur Eckardt** comprend un séparateur d'eau, un ajutage d'étranglement et deux manomètres; on peut l'intercaler directement sur la tuyauterie.

Les *manomètres métalliques* sont peu employés pour ces mesures car il y a très peu de différence de pression et, avec les appareils à organe élastique, l'erreur d'indication serait par trop considérable. On utilise surtout comme manomètres différentiels le tube en U, l'appareil à cloche, la balance à mercure.

Le manomètre en U à mercure permet de mesurer facilement les faibles différences de pression qui résultent du passage de la vapeur à travers le diaphragme. La pression est transmise au mercure par de l'eau qui remplit les tubes et la différence est lue sur une réglette mobile.

Le premier modèle de la *Gehre Dampfmesser Gesellschaft* comportait un dia-

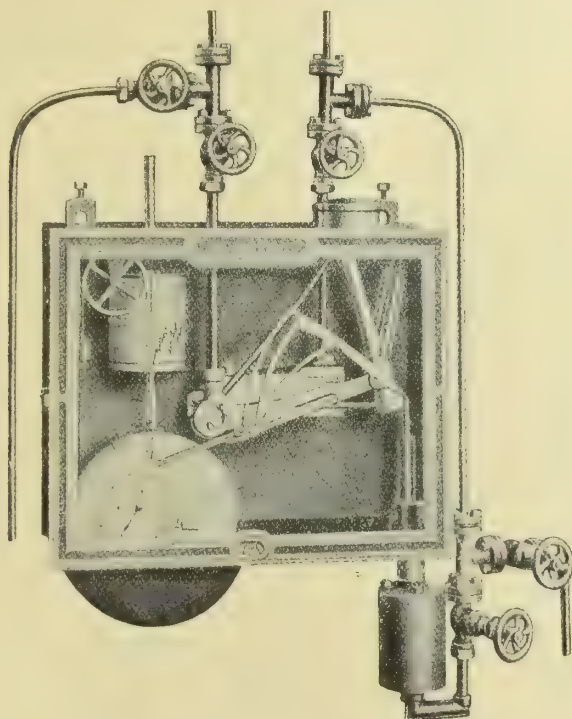


Fig. 64. — Compteur Gehre à compensateur.

gramme collé sur un tambour que l'on faisait tourner à la main pour mettre en face de la colonne mercurielle l'ordonnée de la pression existant au moment de la lecture. Le chiffre du débit était lu directement à cet endroit.

L'appareil enregistreur Gehre (1) se compose d'un dispositif déterminant, dans un système de balance équilibrée par un ressort, des variations de poids proportionnelles aux différences de pression.

Le récipient conique H communiquant par *p* à l'arrière du disque d'étrangle-

(1) Présenté par la Société technique et industrielle du Centre, à Clermont-Ferrand.

ment, est rempli d'eau et la boîte Q, reliée à l'avant du disque, contient avec de l'eau une certaine quantité de mercure. Quand une pression se fait sentir en Q, une partie du mercure passant par l'axe de la balance et par le tube P, vient dans le récipient conique H et tend le ressort F proportionnellement à son poids et à la pression. Le système supporte la plume qui se déplace sur un tambour tournant.

Pour tenir compte de la densité, la pression agit par l'intermédiaire d'un réservoir d'huile sur un piston dont la tige commande un levier à coulisse dans lequel on trouve engagé un tenon. La plume pivote aussi autour du tenon avec un rapport de bras de leviers variable.

Un dispositif totalisateur est adjoint à cet appareil; il donne le débit total de vapeur au bout d'un temps déterminé.

L'appareil indicateur à cadran Gehre se compose de deux vases communicants dans l'un desquels se trouve un flotteur qui transmet au moyen d'un levier la position de la colonne de mercure à l'aiguille de l'indicateur à cadran. Il trouve surtout son emploi dans les chaufferies où il est un guide très sûr car il peut annoncer les variations de pression dues aux changements de débit avant même qu'elles se produisent.

Le compteur Alba est basé sur le même principe que le précédent, mais le compteur différentiel n'est pas le même; c'est un manomètre à mercure où la colonne est disposée pour la lecture devant une échelle graduée. L'indication peut être lue en kilogrammes de vapeur à l'heure.

Le long de la colonne de mercure sont disposés en grand nombre des fils de platine qui se trouvent successivement en contact ou isolés suivant les pressions.

Ces fils de platine communiquent avec des résistances ohmiques placées dans l'appareil et le fait de l'ascension du mercure met en court circuit ces résistances. Un compteur électrique spécial, muni de dispositifs de réglage et branché sur une source à voltage constant en passant par les résistances reliées aux fils de platine de l'appareil primaire et montées en série, est adjoint à l'appareil.

Le chiffre indiqué par le compteur est ainsi directement proportionnel à la quantité de vapeur écoulée dans la conduite pendant le temps considéré.

Le compteur Kent est aussi branché sur un diaphragme et peut, comme les précédents, être enregistreur ou simplement indicateur.

Compteurs d'eau.

Pour connaître le rapport entre le charbon brûlé dans les chaudières et la quantité d'eau vaporisée, il est nécessaire de mesurer aussi exactement que pos-

(1) Présenté par MM. Kater et Ankersmit.

sible l'eau introduite par la pompe alimentaire. Les compteurs sont généralement disposés sur le refoulement des pompes alimentaires. Ceux que l'on utilise dans l'industrie peuvent être répartis en trois classes :

1° Compteurs de vitesse;

2° Compteurs volumétriques;

3° Compteurs à déversoir.

1° **Compteurs de vitesse.** — Les compteurs munis d'une turbine ou d'une roue à ailettes sont maintenant très peu employés. Dans ces appareils, l'eau après filtration, pénètre dans les canaux d'une couronne d'injection qui la distribue

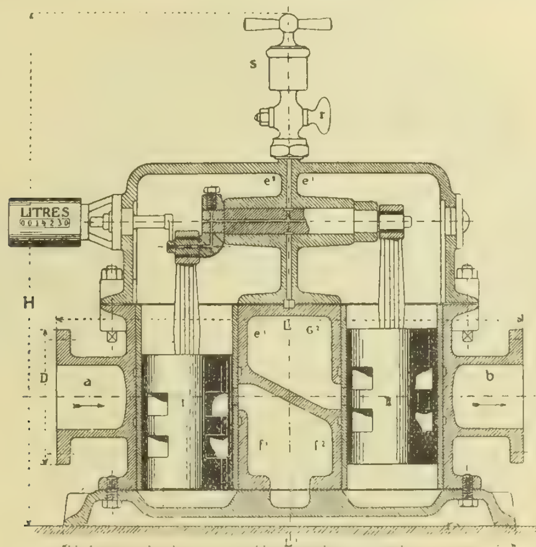


Fig. 65. — Compteur d'eau Schmid.

sur les ailettes de la turbine mobile. Elle sort par une autre turbine et le nombre de tours de la turbine sert à déterminer le débit.

Pour les grands débits, on se contente de faire passer par la turbine une partie de l'eau seulement. L'enregistrement tient compte du rapport entre l'eau totale et celle qui passe réellement au compteur.

2° **Compteurs volumétriques.** — Ces compteurs peuvent être : à pistons; à roue ou bascule; à siphon intermittent.

Compteurs à pistons. — Les compteurs *Schmid* et *Frager* (fig. 65) comprennent deux corps de pompe dans lesquels se meuvent des pistons; la distribution d'eau est faite par un mécanisme à tiroirs. Le mouvement des pistons commande le déplacement des tiroirs au moyen d'une traverse montée au-dessus de chaque piston et d'un taquet terminant la tige des tiroirs. Avec ces appareils les mesures sont indépendantes de la vitesse et on peut obtenir une assez grande précision.

Les compteurs présentés par la *Compagnie des Compteurs* possèdent une seule pièce mobile; un piston rotatif dont le contact à frottement doux avec le corps de pompe assure une étanchéité suffisante. Le passage des bords du disque devant les orifices d'entrée et de sortie assure la distribution et chaque tour du piston rotatif correspond au passage d'un volume d'eau égal à la capacité intérieure du corps de pompe.

D'un modèle un peu différent, mais également à piston rotatif, est le *compteur Aster* que l'on construit en toutes dimensions.

Le *compteur Kent*, représenté par la figure 66, est aussi à piston rotatif

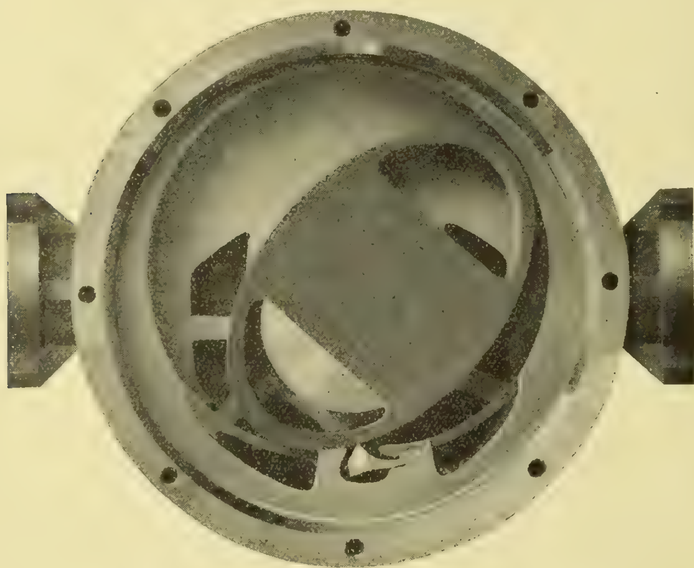


Fig. 66. — Compteur d'eau Kent.

excentré placé de manière à partager le corps de pompe en deux parties, l'aspiration et le refoulement se faisant toujours par les mêmes tubulures.

Compteurs à roue ou à bascule. —Le système de distribution par bascule automatique est connu et appliqué depuis longtemps dans l'industrie chimique; appliqué à la mesure de l'eau d'alimentation des chaudières, il donne aussi d'excellents résultats.

Le *compteur Clément* (fig. 67) (1) se compose d'une bascule partagée en deux chambres qui se remplissent et se vident alternativement. Le basculement se produit toujours pour une égale quantité d'eau. Les allées et venues actionnent un compteur qui totalise directement le volume d'eau passé pendant un temps déterminé.

(1) Présenté par les Établissements Izart.

Le *dispositif de balance automatique rotative Martin* est assez analogue au précédent; le liquide s'écoule continuellement dans les auges d'une roue qui tourne

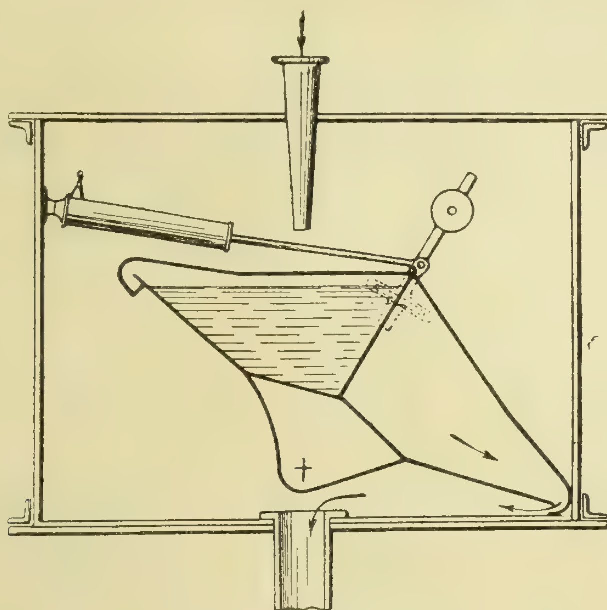


Fig. 67. — Compteur d'eau Clément.

d'un certain angle quand une des auges s'est remplie d'un poids déterminé de liquide.

Le *compteur volumétrique à tambour Reisert* peut aussi, comme les précédents, fonctionner avec des liquides froids ou chauds, propres ou sales.

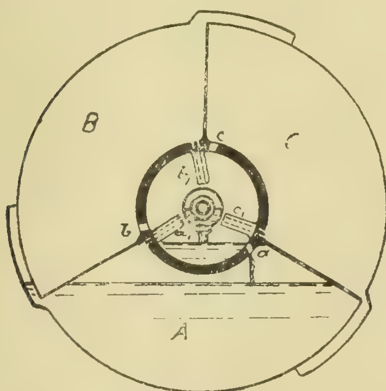


Fig. 68. — Compteur d'eau Siemens.

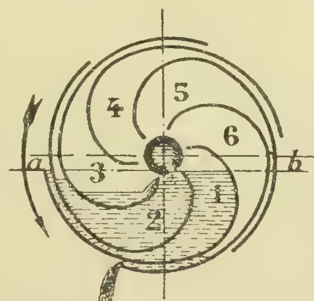


Fig. 69. — Schéma du tambour du compteur Reisert : position A.

Analogue au compteur Siemens (fig. 68), il se compose d'un arbre creux fixe servant d'arrivée d'eau sur lequel le tambour est monté au moyen de roulements

à galets. Ce tambour est divisé par des cloisons spiraloïdes en un certain nombre de chambres qui se remplissent successivement de façon que celui qui se trouve sous la fente déborde dans le compartiment voisin. Quand l'eau du compartiment 1 est passée en quantité suffisante dans le compartiment 2, le tambour se met à tourner. L'eau contenue dans la chambre 1 se déverse dans le 2, jusqu'à ce que l'orifice d'échappement *a* soit à la hauteur de *ab* du compartiment 1. A ce moment, le compartiment 1, qui ne reçoit plus d'eau, commence à se vider. Les compartiments reçoivent donc tous un volume égal de liquide; le nombre de tours est enregistré par un compteur qui indique directement le débit en mètres cubes.

Compteurs à siphon intermittent. — Les compteurs à siphon intermittent comme celui de Martin (fig. 71) se composent de deux réservoirs pouvant se vider complètement et automatiquement après remplissage au moyen de siphons. Quand l'un des siphons commence à fonctionner, l'eau fait basculer un mécanisme qui agit sur le distributeur et détermine le remplissage de l'autre réservoir. C'est aussi ce mécanisme qui commande le compteur. L'eau est ainsi exactement jaugée en volume.

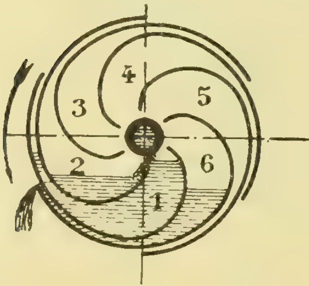
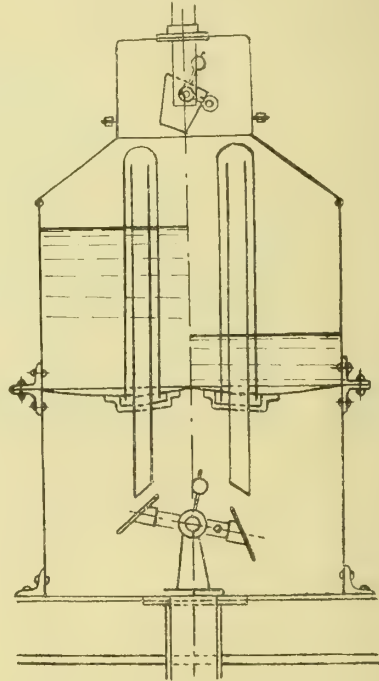


Fig. 70. — Schéma du tambour du compteur Reisert : position B.


Fig. 71. — Compteur d'eau à siphon intermittent Martin.

3° **Compteurs à déversoir.** — Dans ces appareils, le liquide à mesurer se déverse par un orifice de forme appropriée et le niveau de l'eau dans la bâche, suivi par un flotteur actionnant tout le mécanisme enregistreur, indique à tout instant le débit du déversoir.

Si la section de la veine liquide est triangulaire, le débit est une fonction simple

du niveau. Pour un orifice triangulaire ayant un angle de 90°, par exemple, H étant la hauteur de la veine liquide en centimètres, le débit Q en litres par minute est :

$$Q = 0,835 \, H^2 \sqrt{H}.$$

Les compteurs de cette catégorie mesurent continuellement la valeur de H.

Le *Lea recorder* (1), par exemple, se compose d'un bac divisé en deux compartiments par le déversoir de mesure. L'eau arrive dans l'un de ces compartiments et est évacuée par l'autre. Dans le compartiment amont elle entre par une chambre verticale qui la répartit d'une façon uniforme en évitant les remous au

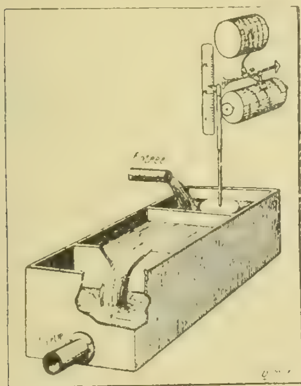


Fig. 72. — Compteur d'eau à déversoir « Lea Recorder ».

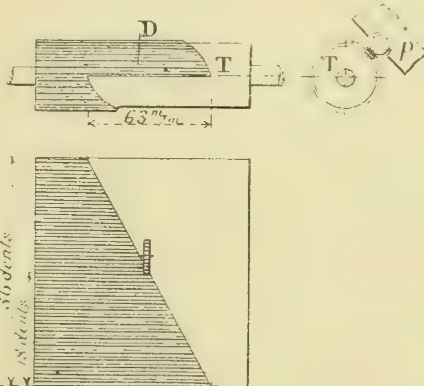


Fig. 73. — Dispositif d'intégration automatique.

moyen d'un cloison perforée. Le flotteur se trouve dans un réservoir cylindrique contenu dans ce premier compartiment. La communication liquide de l'intérieur de ce cylindre à l'extérieur s'établit par une crépine et les niveaux sont ainsi partout dans le même plan (fig. 72).

Les indications du flotteur sont transmises au mécanisme enregistreur par une tige verticale dont la partie supérieure forme crémaillère. Pour transformer les indications niveaux en indications volumes, l'appareil est muni d'un tambour à représentation graphique variant avec chaque forme de déversoir. Le tambour porte une rainure en hélice à pas variable croissant proportionnellement à $H^2 \sqrt{H}$. C'est cette rainure qui, par l'intermédiaire d'un pointeau faisant mouvoir horizontalement le chariot porteur du style enregistreur, transforme des chiffres de niveaux en chiffres de débit.

L'appareil peut être complété par un dispositif d'intégration automatique. Un compteur à cadrans multiples reçoit les mêmes impulsions que l'aiguille

(1) Présenté par la Société Alba.

enregistreuse. Dans ces déplacements transversaux, le pignon de commande du compteur parcourt la génératrice d'un tambour intégrateur denté doué d'un mouvement circulaire continu et uniforme. La surface dentée est, comme l'indique la figure 73, limitée longitudinalement suivant un profil hélicoïdal à pas uniforme et égal à la hauteur utile du diagramme. Suivant que le compteur s'est plus ou moins déplacé sous l'action du flotteur, le pignon de commande engrène suivant une plus ou moins grande fraction de la circonférence du cylindre; il reçoit une suite de mouvements discontinus de vitesse uniforme.

L'entraînement est ainsi fonction des déplacements transversaux du chariot et les indications du compteur sont directement proportionnelles aux quantités d'eau débitées.

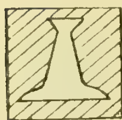


Fig. 74. — Ajutage de déversement du compteur d'eau Alexander Wright.

Le compteur d'eau *Rheograph* (1), est basé sur le même principe; l'enregistreur seul diffère par la manière dont est réalisé le dispositif de transformation des indications niveaux en indications niveaux volumes (A à B).

Cet appareil peut être aussi pourvu d'un mécanisme totalisateur. La tige du flotteur commande un parallélogramme articulé dont la barre verticale suit le contour d'une came en forme d'entaille tout en entraînant le curseur le long d'une barre fixe horizontale. Ce curseur entraîne la came courbe portant l'aiguille indicatrice et le style enregistreur. Cette came courbe est tracée de telle manière que les déplacements horizontaux du curseur et du style soient rigoureusement porportionnels au débit. Les déplacements suivant l'arc ne sont pas proportionnels à ceux suivant la corde; pour compenser, les graduations du cadran sont légèrement plus écartées vers le centre qu'aux extrémités.

Dans le *compteur Alexander Wright*, les indications niveaux et les indications volumes sont confondues grâce à l'emploi d'un ajutage de déversement bien calibré de la forme indiquée par la figure 74. Le flotteur indique ainsi sur le tambour vertical de l'enregistreur, et sans aucune transformation, les débits de liquide.

Il est naturellement indispensable que l'orifice en mince paroi soit exactement calibré et que la pièce soit changée dès que l'oxydation a pu l'agrandir.

Le totalisateur est composé d'un petit curseur à cadrans multiples se déplaçant horizontalement et proportionnellement avec le flotteur sur le diamètre d'un disque de frottement horizontal faisant un tour en 24 heures.

Le train totalisateur s'éloigne d'autant plus du centre du disque que le niveau de l'eau dans le bas est plus élevé et la vitesse de rotation du pignon de compteur augmente d'autant plus. Le tout est calculé pour que l'on ait exactement sur les cadrans à chiffres mobiles le débit en gallons pendant un temps déterminé.

(1) Présenté par M. Massip, 58, rue Danton, à Levallois.

Compteurs de charbon.

La mesure de la quantité de charbon dépensée dans les foyers industriels se fait le plus souvent en poids, sur bascules à main ou sur bascules automatiques. Il existe cependant des appareils ingénieux qui mesurent en volume le charbon passant sur les grilles mécaniques, par exemple.

La plupart des *compteurs à bascule* fonctionnent de la manière suivante : le charbon arrivant automatiquement remplit peu à peu la benne équilibrée; quand le poids déterminé de charbon s'y trouve contenu, le basculement se fait,

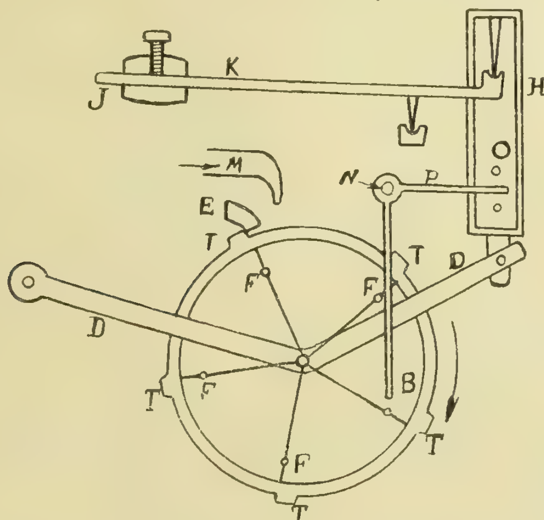


Fig. 75. — Schéma du compteur de charbon Martin.

le charbon se renverse dans la trémie distributrice et le mécanisme totalisateur fonctionne.

Ces appareils sont déjà anciens et fonctionnent un peu partout dans l'industrie (il en existe de très grands, par exemple, pour la pesée des betteraves dans les sucreries), nous ne les décrirons pas spécialement. Citons cependant l'*enregistreur totalisateur Martin*, à roue analogue à celle que nous avons décrite pour la mesure des liquides. Cet appareil se compose d'un tambour formant un certain nombre d'augets dans l'un desquels un distributeur fixe déverse le charbon (fig. 75).

L'axe du tambour est monté sur un système de bascule réglé de manière que l'ensemble s'abaisse quand le poids de matière équilibre l'action d'un contrepoids convenablement réglé.

Le système est maintenu relevé par l'action du levier K et du contrepoids J, agissant sur la bascule H qui supporte par D l'axe du tambour.

A chaque vidange d'un auget, le mouvement de rotation du tambour est tel

que l'auget suivant vient exactement à sa position de remplissage. L'appareil est muni d'un dispositif actionnant directement ou à distance la minuterie d'un compteur et un dispositif d'enregistrement.

Le *Lea coal meter* (1) (fig. 76) est un indicateur totalisateur volumétrique. Il peut enregistrer d'une façon continue le volume de charbon passant sur les grilles ou foyers mécaniques en mesurant la vitesse de la grille et la hauteur de la couche de charbon, la largeur étant constante. Soit V la vitesse de la grille, L sa largeur, E la hauteur de la couche de charbon, la mesure volumétrique fournie dans l'unité de temps a pour expression :

$$Q = L \times E \times V.$$

La largeur L étant constante, il suffit que le compteur intègre les valeurs du produit $E \times V$.

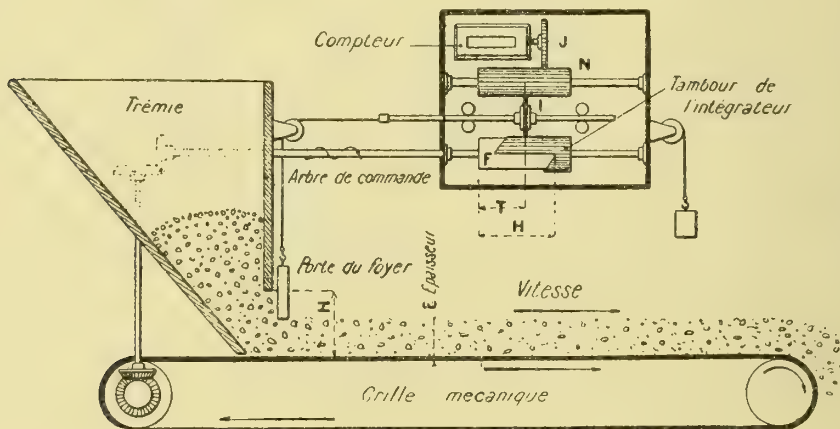


Fig. 76. — Compteur de charbon volumétrique « Lea coal meter ».

Le pignon I se déplace proportionnellement à E par l'intermédiaire d'un ruban souple manœuvrant une porte à guillotine qui règle l'épaisseur de la couche de combustible. Dans le compteur, le tambour intégrateur, denté, comme il a été dit plus haut à propos du compteur d'eau, tourne avec une vitesse proportionnelle à celle de la grille.

Quand le charbon a une densité variable, on étalonne en pesant quelques mètres cubes. L'approximation de cet appareil est de 5 p. 100 environ.

Contrôleurs de chargements.

Il est très important, dans les chaufferies, de réglementer les charges pour équilibrer la production de vapeur et la pression dans les groupes de chaudières.

(1) Présenté par les Établissements Alba.

Les indicateurs de tirage, les indicateurs de CO^2 donnent de bonnes indications au chauffeur le renseignant sur l'état de ses feux. Cependant, pour faciliter encore la tâche des ouvriers, il est nécessaire de les avertir du moment des chargements et l'*appareil conducteur de chauffe Niclausse* est destiné à simpiifier, pour cela, la tâche du chef de chauffe.

Cet appareil se compose d'un mouvement d'horlogerie actionnant une série de contacts électriques commandant des lampes situées dans des boîtes à chiffres transparents correspondant à chacune des chaudières de chaque groupe. Les chargements sont indiqués par une sonnerie et l'apparition du numéro de chaudière à charger. Le nombre de chargement à l'heure est rendu variable par un mécanisme à disque tournant de changements de vitesse sur lequel frotte la poulie commandant les contacts.

D'un emploi courant dans la marine, ce petit appareil est aussi destiné à rendre de grands services dans les chaufferies fixes.

V. — APPAREILS POUR L'ANALYSE DES COMBUSTIBLES ET DES EAUX D'ALIMENTATION

Analyse des combustibles. — Les appareils nécessaires pour faire l'analyse immédiate ou l'analyse élémentaire des combustibles : étuves, creusets de platine, fours à moufle, grilles, etc., ont été maintes fois décrits déjà et leur étude sortirait du cadre de cet exposé dans lequel nous nous sommes proposé seulement de faire connaître les appareils de contrôle nouveaux. Or, si les appareils industriels destinés au contrôle de la chauffe sont tous relativement récents, il n'en n'est pas de même des appareils de laboratoire qui, depuis bien logntemps déjà, sont couramment utilisés et n'ont subi que d'infimes améliorations.

Pour la recherche de l'humidité, des cendres et des matières volatiles, il existe un appareil très simple et très précis que nous décrirons; il s'agit du *four M. Marcel Chopin*. La chambre de chauffe de ce petit four électrique est constituée par un tube de porcelaine placé au centre de l'enveloppe et dont les extrémités débouchent au niveau de deux flasques métalliques. Autour de ce tube est enroulée une résistance électrique en métal capable de résister à des températures de 1.000°. Le tout est isolé thermiquement par un remplissage de Kieselguhr. Les extrémités du tube peuvent être obturées par des volets dont l'un est muni d'un tube de dégagement pour les matières volatiles.

Une résistance extérieure, que l'on peut à volonté intercaler dans le circuit de la spirale chauffante, sert à régler la température pour que le combustible perde seulement son humidité.

La nacelle, renfermant un poids connu de charbon à analyser, est introduite dans le tube que l'on ferme. On fait passer le courant en intercalant la résistance

extérieure. La teneur en humidité est déterminée comme à l'ordinaire par pesées successives.

Pour la détermination des matières volatiles, on porte le tube au rouge cerise, on place quelques fragments de houille pour réduire la proportion d'oxygène et l'on introduit alors la nacelle renfermant l'échantillon sec. Quand le dégagement des matières volatiles est terminé, on retire la nacelle sur une feuille d'amiante et l'on pèse rapidement.

Pour rechercher les cendres, on réintroduit la nacelle dans le tube rouge en l'ouvrant aux deux extrémités.

L'analyse du carbone total, qui se fait habituellement au moyen de la grille à analyse, peut se faire d'une façon plus rapide et plus simple au moyen de la bombe calorimétrique. Le dispositif employé est dû à *M. Damour*, qui a modifié légèrement l'appareil employé par MM. Mahler et Goutal pour l'analyse du carbone total dans les aciers.

Dans une bombe en acier très résistante, analogue à la bombe Mahler, on introduit un poids déterminé du charbon dont on veut rechercher le carbone total et l'on fait entrer de l'oxygène comprimé à la pression de 20 kg : cm^2. La mise à feu du charbon est opérée par le passage d'un courant électrique dans un fil de platine qui rougit et se rompt.

Le mélange d'oxygène et de l'acide carbonique formé est mis en dégagement très lent dans des tubes absorbeurs à potasse préalablement tarés et que l'on pèse une fois l'opération terminée.

Calorimètres pour combustibles solides et liquides. — Pour la mesure des pouvoirs calorifiques des combustibles solides et liquides, l'appareil le plus employé industriellement est la *bombe Berthelot* modifiée par *M. Mahler* (1). Cet appareil se compose essentiellement : d'une bombe en acier, émaillée intérieurement et fermée par un couvercle vissé dans lequel passe un tube à fermeture par pointeau et deux électrodes; d'un calorimètre à deux enveloppes très bien calorifugé extérieurement; d'un agitateur et d'un thermomètre au 1/100 de degré.

La capacité intérieure de l'obus est d'environ 650 cm^3; on l'emplit d'oxygène à 20 kg : cm^2 fourni par une bombe d'oxygène liquide.

Pour déterminer un pouvoir calorifique, on pèse 1 g de combustible que l'on place dans la capsule, à l'extrémité des électrodes. On fait communiquer la bombe, par sa tubulure à pointeau, avec une bouteille remplie d'oxygène liquide et on règle le pointeau de telle manière que la pression intérieure de la bombe atteigne 20 kg : cm^2. La bombe est alors placée dans le calorimètre dans lequel on introduit également 2 l d'eau mesurés exactement.

(1) Présenté par les Établissements Poulenc.

Par le passage d'un courant électrique dans un fil de platine très fin relié au combustible par un fil de coton, on enflamme le combustible et l'on met en route l'agitateur pour bien répartir la chaleur dégagée dans la masse liquide. On mesure l'élévation de température au moyen du thermomètre de précision et, après avoir fait les corrections nécessitées par la masse de la bombe et la présence du fil de coton, on calcule le nombre exact de calories que pourrait dégager 1 kg de charbon. Ce calorimètre a le défaut d'être assez coûteux et il est quelquefois remplacé dans l'industrie par de petits appareils beaucoup moins chers mais aussi beaucoup moins précis, basés sur des principes appliqués à des appareils antérieurs à la bombe Mahler.

Le calorimètre de Thomson, par exemple, est, selon l'avis même de son auteur, destiné aux analyses industrielles et ne saurait convenir aux recherches scientifiques. Il se compose : d'un gazomètre renfermant de l'oxygène; d'un robinet d'introduction d'eau dans le gazomètre; d'un robinet réglant le courant gazeux; d'un indicateur de niveau; d'un tube indicateur de pression; d'une cloche en verre recouvrant le creuset de platine dans lequel s'opère la combustion; d'un support en terre cuite, destiné à isoler le creuset, et à le soustraire à un refroidissement trop brusque; d'un vase en verre pouvant contenir 2 l d'eau. Normalement, l'eau ne peut pas pénétrer dans la cloche de verre par suite de la fermeture du robinet d'arrivée d'oxygène que l'on ouvre seulement quand la pression d'oxygène est suffisante. On introduit le combustible dans le creuset et on l'allume dans l'oxygène au moyen d'une résistance électrique qui enflamme une mèche de coton trempée dans une solution de bichromate et séchée.

Le calorimètre Rosenhain, de la Cambridge C° (fig. 77), est une modification de l'appareil Thomson. Il se compose : d'une cloche en verre dans laquelle se trouvent le creuset de combustion, deux électrodes pour l'inflammation électrique du combustible et une arrivée d'oxygène; d'un vase métallique destiné à contenir l'eau; d'une enveloppe calorifuge en bois. Le vase du calorimètre et la boîte en bois destinée à le contenir et à l'isoler sont munis de regards verticaux en verre, placés de telle manière que l'on puisse voir le progrès de la combustion dans la cloche. Le thermomètre sensible est fixé à la cloche et plonge dans l'eau du calorimètre. L'équivalent en eau du calorimètre est déterminé en faisant des essais avec un échantillon de charbon dont le pouvoir calorifique est exactement connu par une autre méthode.

Quelques comprimés de charbon étalons sont livrés avec l'appareil.

La détermination du pouvoir calorifique des combustibles liquides est faite en retenant l'huile par une pastille absorbante.

Très simple et assez précis pour la plupart des essais industriels est également

le **calorimètre Roland Wild** (fig. 78) présenté par *Alexander Wright.* Il se compose simplement : d'un calorimètre à double enveloppe contenant un volume déterminé d'eau dans laquelle plonge un agitateur mû par la détente d'un ressort; un thermomètre de précision et d'une petite bombe en acier hermétiquement close dans laquelle le combustible est introduit en mélange avec un comburant énergique tel que le peroxyde de sodium.

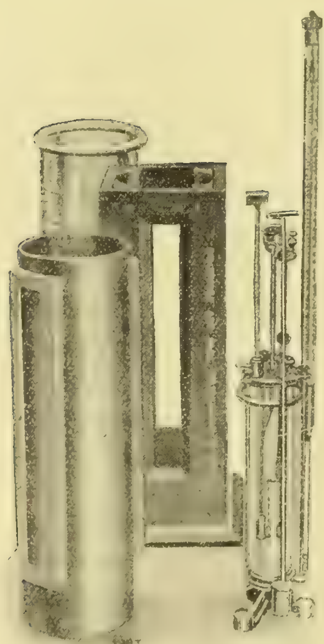


Fig. 77. — Calorimètre Rosenhain.

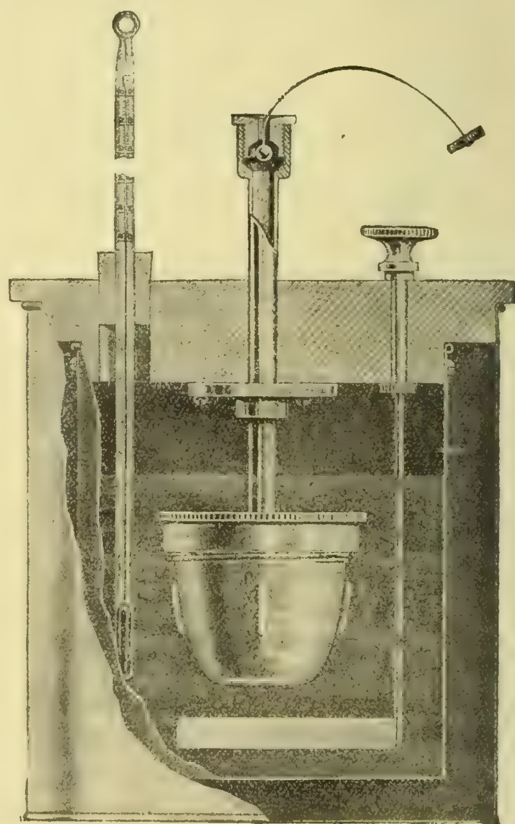


Fig. 78. — Calorimètre Roland Wild.

Le calorimètre à gaz. — Les calorimètres pour combustibles solides peuvent aussi servir pour les gaz mais il est beaucoup plus pratique d'employer des appareils spéciaux tels que le calorimètre Junkers et les analogues.

Le calorimètre à gaz Junkers (fig. 79) est basé sur ce que la quantité de chaleur émise par un courant continu de gaz entièrement brûlé est transmise sans perte à un courant d'eau continu.

La variation de température est ainsi fonction du pouvoir calorifique du combustible.

Le calorimètre est une petite chaudière tubulaire verticale dans laquelle les

circulations de gaz chauds et d'eau se font d'après le principe du contre-courant. Un brûleur Bunsen placé au centre de la chaudière assure une combustion parfaite du gaz à essayer, préalablement passé par un compteur CO et un régulateur de pression R muni d'un manomètre M.

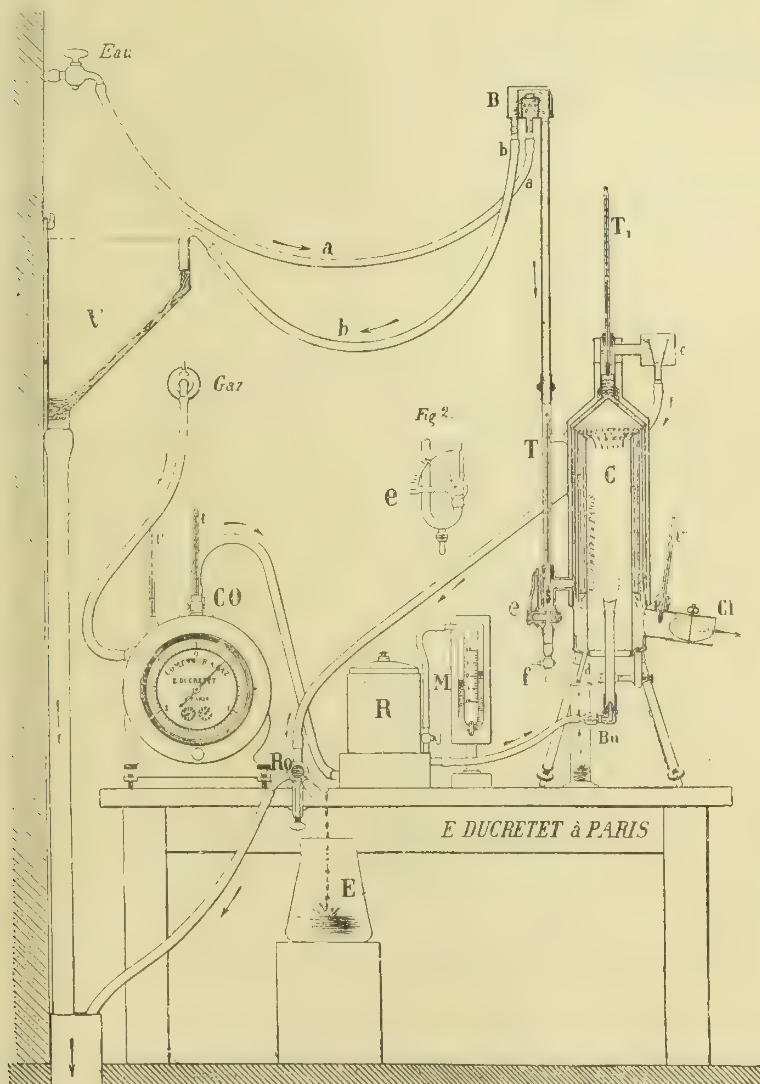


Fig. 79. — Calorimètre Junkers.

La régularité du débit de l'eau est obtenue par une disposition spéciale permettant de maintenir la charge constante sur l'orifice d'écoulement. Cet orifice est commandé par un robinet qui permet de régler au chiffre voulu la température de l'eau à la sortie du calorimètre.

Quand les débits d'eau et de gaz sont bien réglés, l'opération se borne à la lecture des deux températures d'entrée et de sortie de l'eau. On mesure la quantité d'eau passée pendant la durée de l'observation et l'on a :

C étant le pouvoir calorifique;

T l'augmentation de température;

G le volume de gaz brûlé pendant l'opération;

V le volume d'eau mesurée;

$$C = \frac{V \times T}{G}.$$

Un orifice d'écoulement sert à recueillir l'eau condensée provenant de la

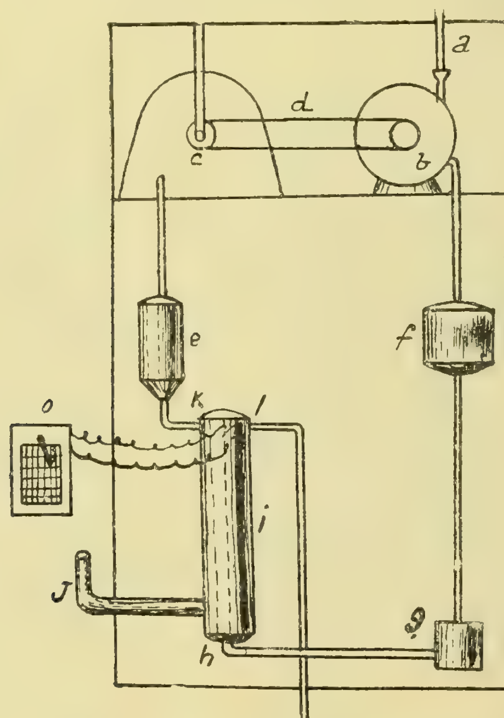


Fig. 80. — Calorimètre Junkers enregistreur.

combustion du gaz; on peut donc apprécier la richesse du gaz en hydrogène et faire intervenir dans le calcul du pouvoir calorifique, la chaleur de vaporisation de l'eau.

Le calorimètre Junkers est construit en France par *Ducretet et Roger* et par la *Société industrielle d'Instruments de Précision* dont le modèle possède un faisceau tubulaire démontable.

Le calorimètre **Junkers enregistreur** (fig. 80) se compose de deux compteurs

solidaires *b* et *c*. Le gaz, après passage dans un régulateur *f*, vient brûler à la partie inférieure *h* d'une chaudière *i*.

Le différence de température entre l'eau froide et l'eau chaude est indiquée par une petite pile thermo-électrique reliée à un galvanomètre enregistreur donnant directement sur un tambour la courbe des pouvoirs calorifiques.

Le calorimètre à gaz Union, présenté par *M. Izart*, est beaucoup plus simplifié. Il se compose d'un eudiomètre en verre entouré par un manchon d'eau contenu dans une double enveloppe de verre ouverte à air libre par un tube vertical capillaire, gradué en degrés, formant la tige d'un thermomètre dont la chemise d'eau constitue la cuvette. L'eau devient ainsi liquide thermométrique. Au moyen d'un flacon à déplacement, on aspire dans l'eudiomètre un volume de gaz déterminé puis de l'oxygène pour le brûler. On fait aussi dégager, en mettant en circuit deux électrodes placées à la partie inférieure de l'eudiomètre, un certain volume de mélange tonnant. Puis on fait éclater une série d'étincelles qui déterminent la combustion du mélange. La température du manchon d'eau s'élève rapidement et le niveau monte dans la tige du thermomètre. Une petite lampe électrique alimentée par les mêmes accumulateurs que le voltamètre et la bobine d'induction, permet une lecture facile. Après avoir fait la correction nécessitée par l'emploi du mélange tonnant, on peut facilement calculer le pouvoir calorifique du gaz examiné.

Une vis permet de ramener au O le liquide thermométrique.

Cet appareil est peut-être assez imparfait au point de vue scientifique mais, par contre, il permet de faire, avec un maximum de commodités, des observations rapides.

Comburimètre. — Cet appareil, inventé par M. Grebel et construit par la *Société industrielle d'Instruments de Précision*, est destiné à la mesure du pouvoir comburivore : nombre de volumes d'air nécessaires pour la combustion parfaite d'un volume de gaz, l'air et le gaz étant secs et ramenés à la pression 760 mm.

Quand on mesure simultanément le pouvoir calorifique inférieur et le pouvoir comburivore, on peut en déduire le pouvoir thermique. Le comburimètre est un petit four à gaz à brûleur vertical. Le gaz arrive en A et l'air nécessaire à la combustion, aspiré par la cheminée K, passe par le robinet de réglage P après avoir été mesuré dans un compteur. Le mélange brûle dans le brûleur et échauffe une petite coupelle contenant du plomb qui entre en fusion. L'aspect de la surface de ce plomb indique à chaque instant si le milieu est réducteur ou oxydant. En milieu réducteur, en effet, la surface du plomb est brillante et reflète les parois intérieures du four; en atmosphère oxydante, la surface se ternit, elle est parcourue en tous sens par des langues d'oxydes colorées. Il suffit de variations très faibles du débit de gaz et d'air pour passer d'un aspect à un autre.

Avertisseur de naphtaline. — L'avertisseur de naphtaline, présenté par la *Société industrielle d'Instruments de Précision*, comprend : un serpentin en cuivre doré dans lequel l'on fait passer un courant d'eau ; une cloche en verre, sous laquelle

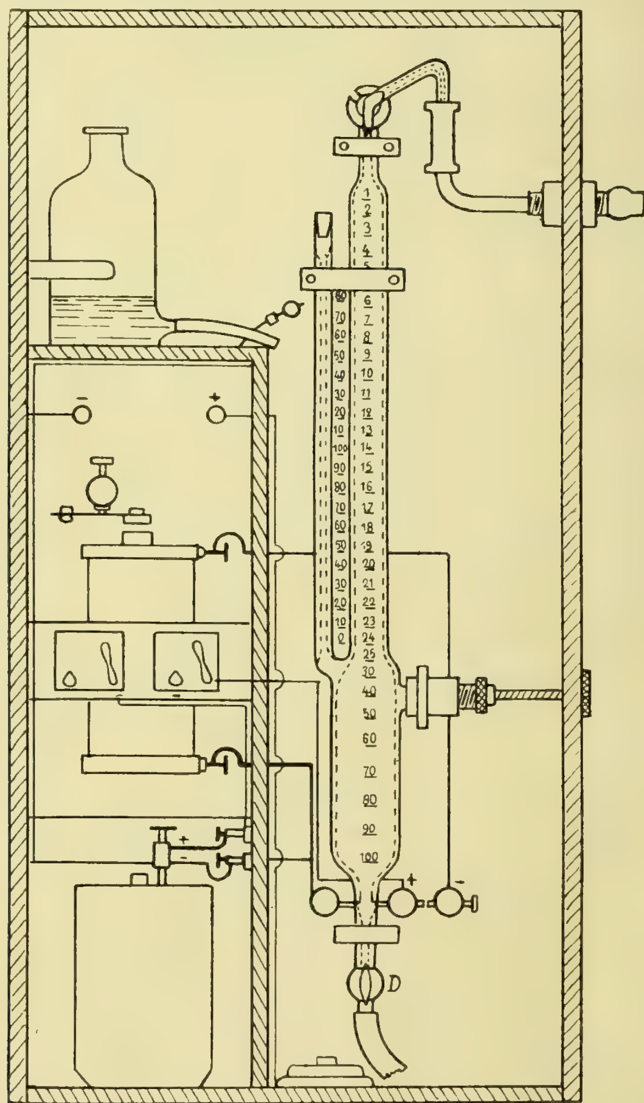


Fig. 81. — Calorimètre Union.

est placé le serpentin, dans laquelle le gaz circule de haut en bas ; un thermomètre qui indique la température de l'eau à la sortie.

Quand le gaz passant dans la cloche renferme de la naphtaline, on voit celle-ci cristalliser en aiguilles sur le serpentin.

Appareil indicateur de la pureté des eaux d'alimentation.

L'*appareil Dionic*, exposé par la maison anglaise *Evershed and Vignoles C°* est destiné à essayer ou éprouver l'eau ou n'importe quelle solution diluée. Il

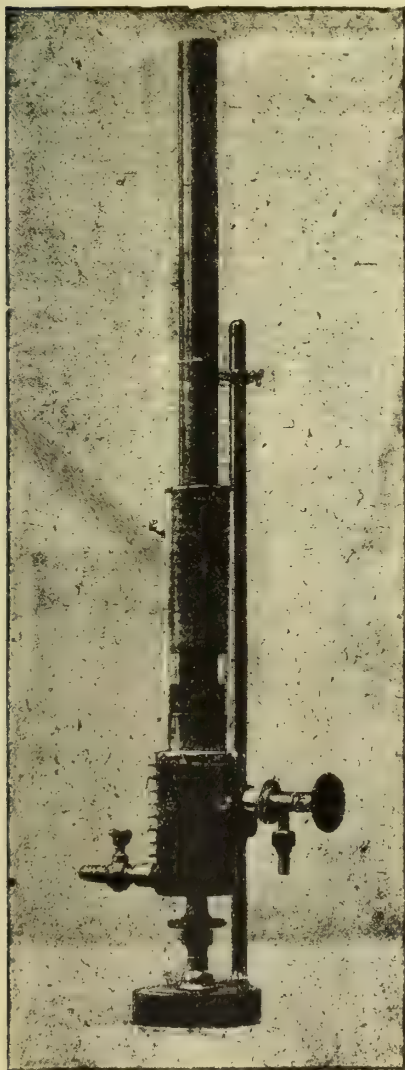


Fig. 82. — Comburimètre Grebel (vue extérieure).

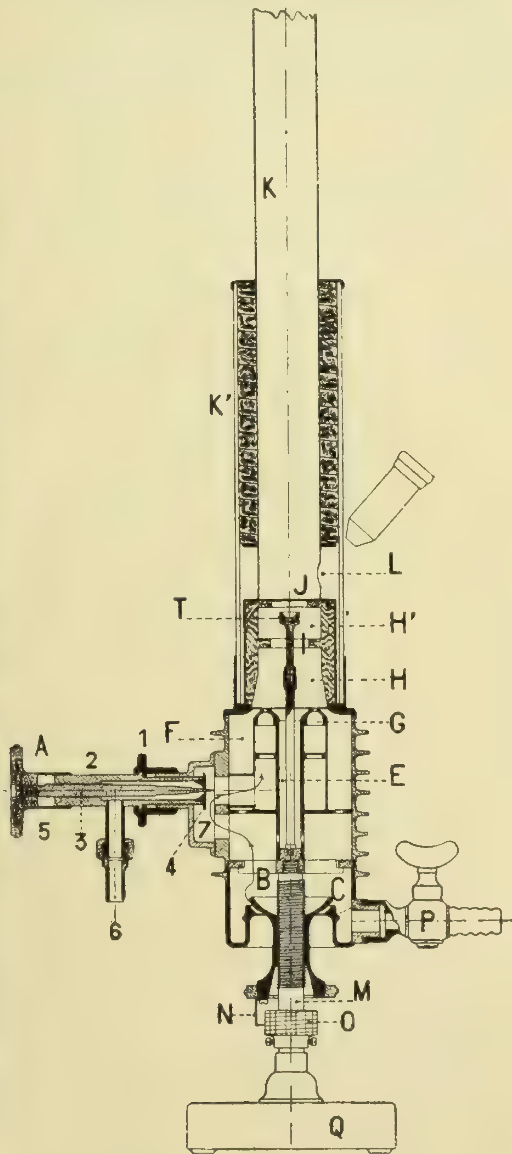


Fig. 83. — Comburimètre Grebel (coupe verticale).

permet, même à une personne inexpérimentée, de faire des essais précis et de découvrir et mesurer des traces d'impuretés si faibles qu'elles échapperaient totalement à l'analyse chimique.

Quand on connaît la nature d'une substance quelconque en solution, la conductibilité de la solution est une mesure de la quantité de cette substance.

Cet appareil se compose : d'un tube de verre G qui contient l'eau soumise à l'essai; de deux électrodes A et B pour le passage du courant électrique dans l'eau; d'un appareil M à lecture directe, pour la mesure des conductibilités, auquel sont réunies les électrodes; d'une magnéto à courant continu E, actionnée à la main.

Un thermomètre T sert à mesurer la température de l'eau soumise à l'essai;

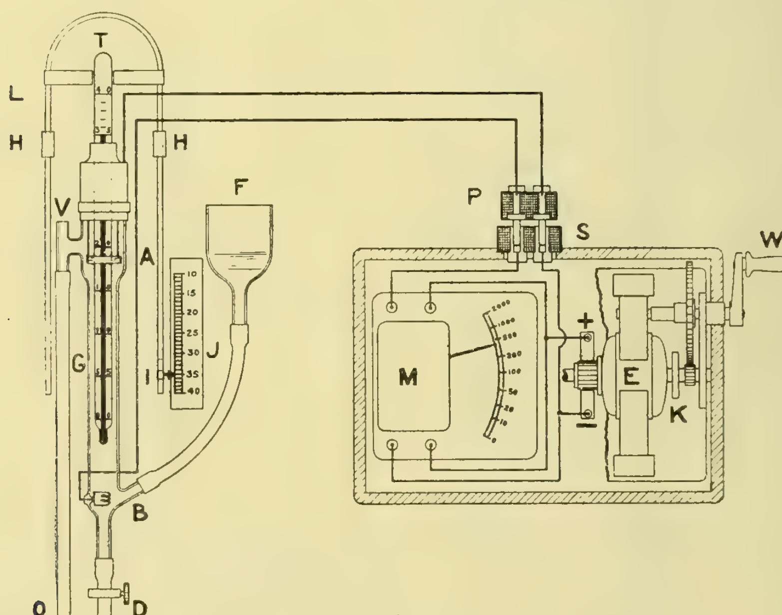


Fig. 84. — Analyseur « Dionic ».

un mécanisme spécial permet de le descendre ou l'élever dans l'eau, en modifiant ainsi la section transversale effective du liquide. Il est monté sur un support L coulissant sur deux guides H et H' et muni d'un index I se déplaçant sur une échelle graduée en degrés. Cet index est placé sur le degré correspondant à celui qu'indique le thermomètre et ainsi est faite la correction de température.

La lecture fournie par le cadran du compteur M correspond à la conductibilité de l'eau à 20° C.

Les résistances sont données en unités de conductibilité; rapportées à un barème établi pour un corps déterminé elles en donnent la proportion.

*
* *

Les appareils de contrôle deviennent maintenant de plus en plus nombreux; beaucoup sont utilisés à l'étranger qui sont encore mal connus en France; les appareils existants se perfectionnent de jour en jour; aussi nous a-t-il été impossible de faire un exposé absolument complet. Cette question ne pourra être tout à fait au point qu'après quelques expositions comme celle que l'Office de Chauffe a organisée.

LUCIEN MAUGÉ,
Ingénieur à l'Office central de Chauffe rationnelle.

UTILISATION MÉCANIQUE DE L'ÉNERGIE CONTENUE DANS LA VAPEUR A TRÈS BASSE PRESSION, POUR L'AMÉLIORATION DES INSTALLATIONS DE CHAUFFAGE CENTRAL (1)

A. — Généralités.

Cette communication a pour but d'exposer les moyens qui permettent pratiquement l'utilisation mécanique de l'énergie produite par la détente de la vapeur à très basse pression employée dans d'importantes installations de chauffage central, cette utilisation pouvant soit perfectionner le procédé de circulation de l'eau chaude, soit le mode de distribution de l'air chaud, ces fluides étant chauffés par la vapeur.

Il s'agit tout particulièrement d'installations dans lesquelles la vapeur est fournie par des générateurs à très basse pression, à fonctionnement continu et automatique.

Les perfectionnements que nous nous proposons de décrire et qui ont été réalisés depuis 1911 par la maison Nessi frères, avec la collaboration de M. Henri Dumas, ingénieur des Manufactures, sont relatifs d'une part à l'économie d'exploitation et d'autre part à la facilité d'installation des tuyauteries.

Avant d'aborder le sujet principal de cette communication je crois utile de vous exposer rapidement quelques considérations générales. Ce sont celles qui ont guidé les constructeurs vers le but qu'ils ont atteint.

Dans une importante installation de chauffage central dont les canalisations sont très étendues, il ne suffit pas d'envisager uniquement les dépenses de première installation, il faut surtout chercher à réduire au minimum les dépenses d'exploitation et en particulier la dépense de combustible.

Au point de vue de cette dépense, de sérieux progrès restent encore à faire dans la construction des chaudières employées dans le chauffage central pour améliorer leur rendement (1*), et pour l'utilisation des combustibles autres que

(1) Communication faite par l'auteur en séance publique du Conseil le 29 octobre 1921.

(1*) Il faut malheureusement constater que les fonderies qui ont le plus répandu dans le commerce durant ces dernières années les types de chaudières en fonte à éléments, ont surtout cherché à diminuer le poids du métal pour réduire le prix de vente, en raison de la concurrence. Elles ne paraissent pas s'être souciées beaucoup de la durée des appareils, ni des perfectionnements à apporter en vue d'un meilleur rendement.

l'anthracite dont le prix reste très élevé (2); mais à notre avis, une économie considérable de combustible peut être faite par l'emploi d'un système de canalisations étudié pour permettre d'obtenir le *réglage général de la température* (3).

Il faut entendre par *réglage général de la température* dans une installation de chauffage central, le réglage qui s'opère simultanément sur toutes les surfaces de chauffe, lorsque l'on agit en un seul point déterminé, sur le fluide qui sert au transport de la chaleur.

Ce réglage ne peut être réalisé d'une manière absolue avec les systèmes de chauffage actuellement connus, mais il est possible de s'en rapprocher très sensiblement avec certains (4).

Dans nos climats, la température extérieure est très variable, et ce réglage général est particulièrement intéressant.

Il y a souvent avantage à faire fonctionner les installations d'une manière continue pour maintenir une température intérieure constante, mais il ne faut pas surchauffer les pièces par un temps doux.

La quantité de chaleur que doit fournir une installation doit pouvoir être réduite au moins dans la proportion de 4 à l'unité (5).

(2) Il serait à désirer qu'en dehors de l'emploi des cokes et anthracites de toutes sortes, des types de générateurs de chauffage central soient créés pour l'utilisation des combustibles pauvres et en particulier des lignites et de la tourbe préalablement séchées, en raison de l'importance des gisements qui existent dans notre pays.

(3) Dans une installation de chauffage central, on doit en outre créer dans la mesure du possible, autant de réseaux de canalisations séparés qu'il y a de groupes de locaux soumis à des régimes différents, de manière à pouvoir faire varier pour chacun de ces groupes, soit la durée de l'admission du fluide du chauffage, soit sa température ou sa pression.

La quantité de chaleur à fournir varie en effet suivant la nature des locaux à chauffer, suivant leur exposition et leur mode d'occupation.

En cas de chauffage intermittent, il faut de plus tenir compte du coefficient d'inertie calorifique des matériaux de la construction.

Pour les installations étendues, le réglage de la chaleur devra être facilité par l'emploi d'appareils indicateurs de température à distance et d'enregistreurs groupés dans la chaufferie pour contrôler le fonctionnement.

Les frais de première installation qui résultent de l'emploi de toutes ces dispositions, sont rapidement couverts par les économies de combustible réalisées.

(4) Par exemple, si, dans une installation de chauffage par l'eau chaude dont les canalisations sont convenablement calculées, nous modifions la température de l'eau au départ de la chaudière, les températures des surfaces de chauffe se trouvent modifiées simultanément. Les quantités de chaleur émises par chacune d'elles, varient sensiblement dans une même proportion. Si donc, nous modifions convenablement la température de l'eau mise en circulation suivant les variations de la température extérieure, nous pouvons obtenir une température sensiblement constante dans les pièces chauffées.

(5) Si l'on considère une installation prévue pour obtenir par chauffage continu la température de 18° tant que la température extérieure ne s'abaisse pas au-dessous de — 6°, cette installation restant en fonctionnement par une température de + 12° à l'extérieur, ne devra fournir sensiblement qu'un nombre de calories représentant

$$\frac{18 - 12}{18 + 6},$$

soit le quart du nombre maximum prévu.

La dépense de combustible devra être sensiblement réduite dans cette même proportion.

Le nombre de calories transportées par le fluide de circulation doit donc varier dans les mêmes proportions, si l'on veut éviter la surchauffe des locaux, et, par suite, une dépense inutile de combustible. D'autre part, la chaleur doit pouvoir être distribuée uniformément, quel que soit le régime de fonctionnement, sinon il en résulte des réclamations de la part des occupants des pièces insuffisamment chauffées. Pour donner satisfaction à ces derniers, il est nécessaire d'élever la température dans l'ensemble de l'installation; on obtient alors une chaleur exagérée dans certaines pièces et cet inconvénient se traduit par le gaspillage du combustible.

On comprend ainsi la nécessité d'étudier les moyens d'obtenir le réglage général de la température. *Cette nécessité est d'autant plus grande que l'installation est plus étendue.* Nous allons voir de quelle manière les perfectionnements que nous allons décrire réalisent ce desideratum (6).

B. — Modes d'emploi de l'énergie contenue dans la vapeur à basse pression.

L'énergie contenue dans la vapeur à basse pression, peut être employée :

1° Pour les installations de chauffage par l'eau chaude;

2° Pour les installations de chauffage par l'air chaud chauffé par la vapeur.

I. — Considérons d'abord :

1° Le cas des installations de chauffage par l'eau chaude à basse pression.

Nous savons que les systèmes actuellement employés peuvent être classés dans l'une des 3 catégories suivantes :

1° Chauffage par densité (thermosiphon);

2° Chauffage dits à circulation accélérée : circulation par émulsion, par pulsion ou par aspiration;

3° Chauffage par circulation mécanique (emploi d'une pompe).

(6) Il est à remarquer qu'il y a d'autres moyens de maintenir constante la température des pièces chauffées. Depuis plusieurs années, certains constructeurs emploient des appareils automatiques pour régler individuellement la température des pièces chauffées.

Ces appareils, composés d'un *thermostat* et d'un régulateur, agissent directement sur les vannes des surfaces de chauffe, mais il faut autant d'appareils automatiques que de pièces chauffées. Malgré les perfectionnements apportés à ces appareils, leur prix très élevé n'a pas permis d'en généraliser l'emploi. Lorsque les surfaces de chauffe sont très divisées, il faut compter doubler environ le prix de l'installation.

Ces appareils s'imposent cependant dans certains cas comme pour le chauffage des classes d'études, des salles de réunion, etc., et, en général, dans les locaux dont la température est influencée par d'autres causes que les variations de la température extérieure.

Il y a lieu de remarquer en outre, que les appareils de réglage automatique individuel, exigent pour être efficaces, que le renouvellement d'air soit réglé avec précision. On ne saurait imaginer leur installation dans des locaux où il serait possible, par exemple, de laisser aux occupants la libre ouverture des fenêtres.

Notons en passant, que dans les immeubles à loyer, une importante économie de combustible peut être réalisée par l'emploi de compteurs de calories.

Avec le chauffage par densité, il est possible d'obtenir un réglage général de la température assez satisfaisant, si toutefois l'installation n'est pas trop étendue. On n'y utilise comme force motrice, que la différence de densité des colonnes chaude et froide (7).

Dans les systèmes de la deuxième catégorie, l'énergie contenue dans la vapeur à basse pression est employée directement pour accélérer la circulation de l'eau (8).

Dans les chauffages par émulsion par exemple, une certaine quantité de vapeur est introduite dans la colonne ascendante et produit ainsi une augmentation de la force ascensionnelle de l'eau (9).

Dans les chauffages par pulsion, la vapeur formée en un point de la masse d'eau mise en circulation, produit à des intervalles plus ou moins rapprochés, l'élévation d'une certaine quantité d'eau.

Dans les chauffages par aspiration, c'est le vide produit par la condensation de la vapeur qui active la circulation (10).

Ces systèmes de la deuxième catégorie, ont permis de réduire légèrement les dimensions des canalisations, mais ils n'ont pas donné au point de vue économique les résultats que l'on en attendait (11).

Ces récents systèmes ont enlevé au chauffage à eau chaude par densité, sa principale qualité qui était le réglage général de la température, sans lui en apporter d'autres appréciables (12).

Par contre, les chauffages à circulation mécanique, où la pression dynamique est obtenue par une pompe centrifuge, ont conservé toutes les qualités du ther-

(7) Dans un thermosiphon, le mouvement de l'eau est déterminé par la différence de densité de deux colonnes d'eau dont les températures sont inégales. La charge qui produit la circulation n'est que de quelques centimètres de hauteur d'eau.

(8) De nombreux brevets ont été pris par les constructeurs de ces systèmes dans la période de 1900 à 1910. Le principe avait déjà été appliqué avant 1870 par la maison Chibout, (Voir la description donnée dans le *Traité de Physique industrielle* de Ser, 2e partie.)

(9) On obtient généralement une charge de 0,75 m de hauteur d'eau.

(10) On peut obtenir dans les chauffages par pulsion, une charge de 1 à 2 m de hauteur d'eau pour activer la circulation.

Nous avons réalisé dans des installations de chauffage par aspiration, des dépressions de 7 m (circulation accélérée par le vide), mais il faut remarquer que ces charges ou dépressions ne se produisent que par intermittence. La circulation est analogue à celle du sang dans l'organisme humain.

Les circulations par émulsion se rapprochent davantage de la circulation continue du thermosiphon, mais lorsqu'on en observe le fonctionnement, on constate que le mouvement de l'eau a lieu souvent par à-coups, surtout dans la période de mise en marche, et aussi dans la période qui précède l'arrêt lorsque le foyer fonctionne à allure réduite.

Il faut tenir compte du refroidissement de l'eau dans les conduites pendant le temps qui sépare les pulsations; il faut songer également à la circulation par densité qui se produit parfois en sens inverse. Les phénomènes qui se produisent dans ce genre d'installations sont très complexes et il est très difficile de calculer convenablement les dimensions des tuyauteries.

(11) Si, d'une part, l'on réduit les diamètres des tuyauteries, on complique d'autre part l'installation. Il est en effet nécessaire de relier la chaudière avec les appareils de circulation toujours placés à la partie supérieure des bâtiments à chauffer.

(12) Malgré les modifications très compliquées que l'on a fait subir à certains, ils n'atteignent pas la perfection du thermosiphon.

mosiphon et l'ont même amélioré pour le cas d'installations importantes (13). De plus, les diamètres des canalisations ont été réduits considérablement.

Le réglage général de la température peut s'opérer dans des conditions encore plus favorables (14). Même dans des installations très étendues, il est possible de faire circuler l'eau à partir d'un degré peu élevé et de ne transporter, lorsqu'on le désire, qu'une faible fraction du nombre de calories maximum pour lequel est prévue l'installation.

La répartition des calories dans toutes les surfaces de chauffe est uniforme et l'on peut réduire la différence de température de l'eau entre le départ et le retour (15).

Depuis un certain nombre d'années à l'étranger, on active la circulation de l'eau dans des installations de chauffage par l'eau chaude pourvues de chaudières à fonctionnement continu et automatique, en intercalant une pompe centrifuge sur la tuyauterie principale de retour d'eau. La force motrice est donnée par un moteur indépendant. Ce moteur est généralement électrique; dans les grandes villes, le courant est fourni par le secteur. Les installations sont pourvues d'un moteur de secours, moteur à essence ou autre, qui doit fonctionner en cas de l'arrêt du courant du secteur.

Ce genre d'installations s'est très peu répandu en France car il a soulevé de sérieuses objections : le fonctionnement de l'installation est, en effet, à la merci de la centrale de distribution. Le moteur électrique, et surtout le moteur à essence, sont des appareils que l'on ne peut confier au personnel inexpérimenté dont on dispose pour le service du chauffage dans les immeubles. De plus, la dépense de force motrice vient grever les frais d'exploitation.

Il est nécessaire qu'une installation de chauffage central réalise un ensemble parfaitement autonome et qu'elle puisse fonctionner sans surveillance continue.

Ce sont ces résultats que nous avons atteints en employant comme force motrice pour la pompe de circulation, la vapeur à très basse pression des chaudières du chauffage. Au moteur électrique, nous avons substitué une turbine à vapeur à

(13) La charge qui détermine la circulation est en général de 2 m à 5 m de hauteur d'eau. La pompe de circulation peut être placée dans la chaufferie, ce qui n'entraîne aucune complication de tuyauteries dans le bâtiment.

(14) Les méthodes de calcul des tuyauteries sont plus simples et plus précises.

(15) L'emploi des pompes dans le chauffage à eau chaude n'est pas récent.

En Amérique depuis plusieurs années, et plus récemment en Angleterre comme en Allemagne, d'importantes installations de chauffage par l'eau chaude à circulation mécanique, sont combinées avec la force motrice dans des centrales électriques, dans lesquelles on emploie des chaudières à vapeur à haute pression. L'eau chaude est chauffée au moyen des vapeurs d'échappement des machines. Dans certains cas, la vapeur d'échappement est envoyée dans un premier condenseur à surface dans lequel circule l'eau du chauffage, puis dans un second condenseur à surface ou à mélange destiné à produire le vide nécessaire au rendement maximum des moteurs. L'eau de circulation peut de plus être réchauffée lorsque cela est nécessaire, par la vapeur vive.

Dans d'autres cas, la vapeur destinée au chauffage de l'eau est prise au réservoir intermédiaire d'une machine « Compound » ou entre les étages d'une turbine à vapeur, lorsque ces machines sont construites spécialement à cet effet.

basse pression. La force motrice est pratiquement gratuite et entièrement indépendante.

Ainsi que nous l'exposerons plus loin, des dispositifs spéciaux ont été créés pour obtenir la marche continue et automatique de l'ensemble de l'installation.

Le système nouveau a reçu le nom de *Dynamo-circuit à eau chaude* (16).

II. — Considérons, en second lieu, le cas du chauffage par l'air chaud chauffé par la vapeur :

Pour produire la pulsion de l'air chaud, la vapeur à basse pression ne peut être employée directement. Elle ne peut être utilisée que dans un moteur actionnant un ventilateur.

Nous avons construit un dispositif dans lequel le ventilateur actionné directement par une turbine fonctionnant au moyen de la vapeur à basse pression des chaudières de chauffage permet la distribution de l'air chaud à des températures variant suivant la température extérieure.

Ce dispositif a reçu par analogie, le nom de *Dynamo-circuit à air chaud.*

C. — Utilisation mécanique. Turbine à vapeur à très basse pression.

Pour que l'installation puisse être autonome et fonctionne sans surveillance, la maison Nessi frères a étudié un type de turbine fonctionnant par la vapeur à très basse pression et réunissant les conditions spéciales suivantes :

Cette turbine est d'une grande simplicité de construction. La pompe ou le ventilateur sont accouplés directement sur l'arbre qui supporte la rue motrice. Il n'y a donc aucun renvoi de mouvement. La disposition des aubes est étudiée pour obtenir le maximum de rendement à la pression de marche qui est très faible. La turbine se met d'elle-même en mouvement dès que la vapeur à l'admission atteint la pression extrêmement basse de 20 g : cm^2. Il n'y a aucune manœuvre à faire pour la mise en marche. Le bon graissage du palier unique est assuré automatiquement pour un mois au minimum. D'autre part, en raison de la nature et de la disposition du palier, aucun grippage n'est possible (17).

Ce type de moteur a en outre l'avantage de ne pas envoyer d'huile au condenseur. Les organes sont robustes, facilement interchangeables, et leur durée est de beaucoup supérieure à celle des générateurs de l'installation (voir figures 1, 2 et 3).

(16) Circuit dont la circulation est activée par une importante pression dynamique créée artificiellement.

(17) Quelques-unes de ces turbines qui ont fonctionné pendant les années de guerre 1914 à 1918, n'ayant pas reçu régulièrement ce graissage nécessaire, ont été démontées en 1918 : les organes étaient en bon état et ont pu être remontés après un simple nettoyage.

D. — Valeur de la force motrice de circulation.

Le fait d'employer la vapeur à basse pression comme force motrice, se traduit par une dépense de combustible négligeable par rapport à celle qui correspond au chauffage proprement dit.

Désignons par :

P, la puissance en kilogrammètres nécessaire à la circulation de l'eau;

R, le rendement mécanique de la turbine;

N, le nombre de calories horaire total de l'installation.

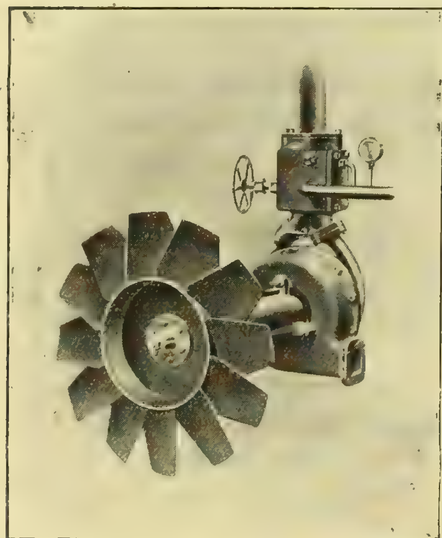


Fig. 1. — Groupe moteur-ventilateur.

Toutes les calories contenues dans la vapeur passant dans la turbine, et qui ne sont pas transformées en travail, sont intégralement restituées au chauffage par l'intermédiaire d'un condenseur à grande surface.

Le nombre de calories n absorbées par le travail de circulation est :

$$n = \frac{P \times 3.600}{R \times 427}.$$

le nombre 427 étant pris comme équivalent mécanique de la chaleur.

Si l'on établit pratiquement pour plusieurs installations le rapport n on trouve une fraction variant de $\frac{2}{1000}$ à $\frac{4}{1000}$.

Il est à remarquer que le rendement thermique du moteur n'a qu'une importance très relative en raison de ce fait que la vapeur d'échappement est entièrement condensée.

La dépense de calories absorbée par le travail est donc très faible. Elle ne peut entrer en ligne de compte, surtout si l'on considère que le frottement de l'eau dans la pompe et les conduites se traduit par une récupération de travail sous forme de chaleur utilisée.

Un simple examen du diagramme entropique ci-contre (fig. 4), tracé à l'échelle permet de se rendre compte de la faible proportion de chaleur correspondant au travail de la turbine, par rapport à la quantité de chaleur totale contenue dans la vapeur d'admission, laquelle n'est d'ailleurs qu'une fraction de celle dépensée dans l'installation.

Le point figuratif de l'état de la vapeur sortant saturée sèche de la chau-

dière à la pression absolue de 1,2 kg : cm² et à la température correspondante 104°,2 est le point B, la ligne B*s* représentant une portion de la courbe de saturation. Nous admettrons pour simplifier, que la détente est adiabatique de B en C. La condensation s'opère de C en D, et nous supposerons que l'eau de condensation retourne à la chaudière à une température moyenne de 60° après s'être refroidie au contact de l'eau, de retour de la circulation, dont la température varie de 30 à 70°. Au point E, se trouve l'intersection de l'isotherme de 60° et de la courbe d'échauffement de l'eau figurée de O en A.

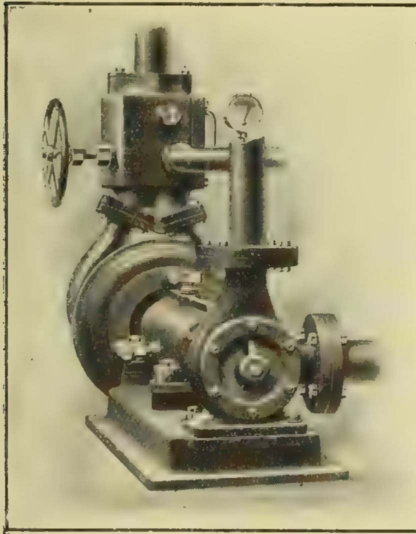


Fig. 2. — Groupe moteur-pompe.

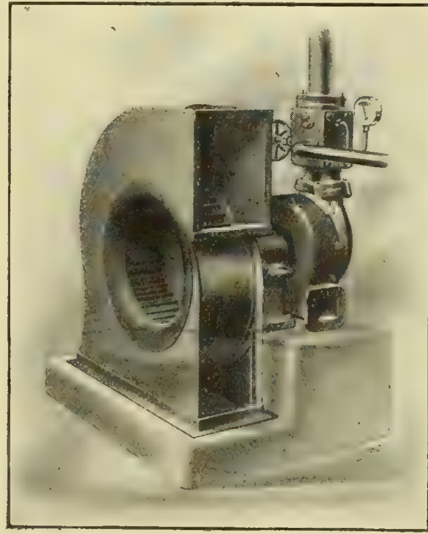


Fig. 3. — Ventilateur centrifuge actionné par turbine à vapeur.

1° La surface du rectangle ABCD représente la quantité de chaleur utilisée pour la force motrice;

2° L'aire sustendue par l'arc ωo AB représente la quantité de chaleur totale de la vapeur dont l'état est figuré par le point B;

3° L'aire ωoDcβ représente celle qui est utilisée pour le chauffage;

4° La quantité de chaleur restituée au chauffage est représentée par la surface ωoEε;

5° Enfin, l'aire ΣEDcβ représente la portion de la chaleur passant par la turbine consommée par le chauffage.

L'augmentation relative de chaleur absorbée pour la force motrice s'établira par le rapport des 2 aires 1 et 5 :

$$\frac{\text{aire ABCD}}{\text{aire } \Sigma\text{EDc}\beta}.$$

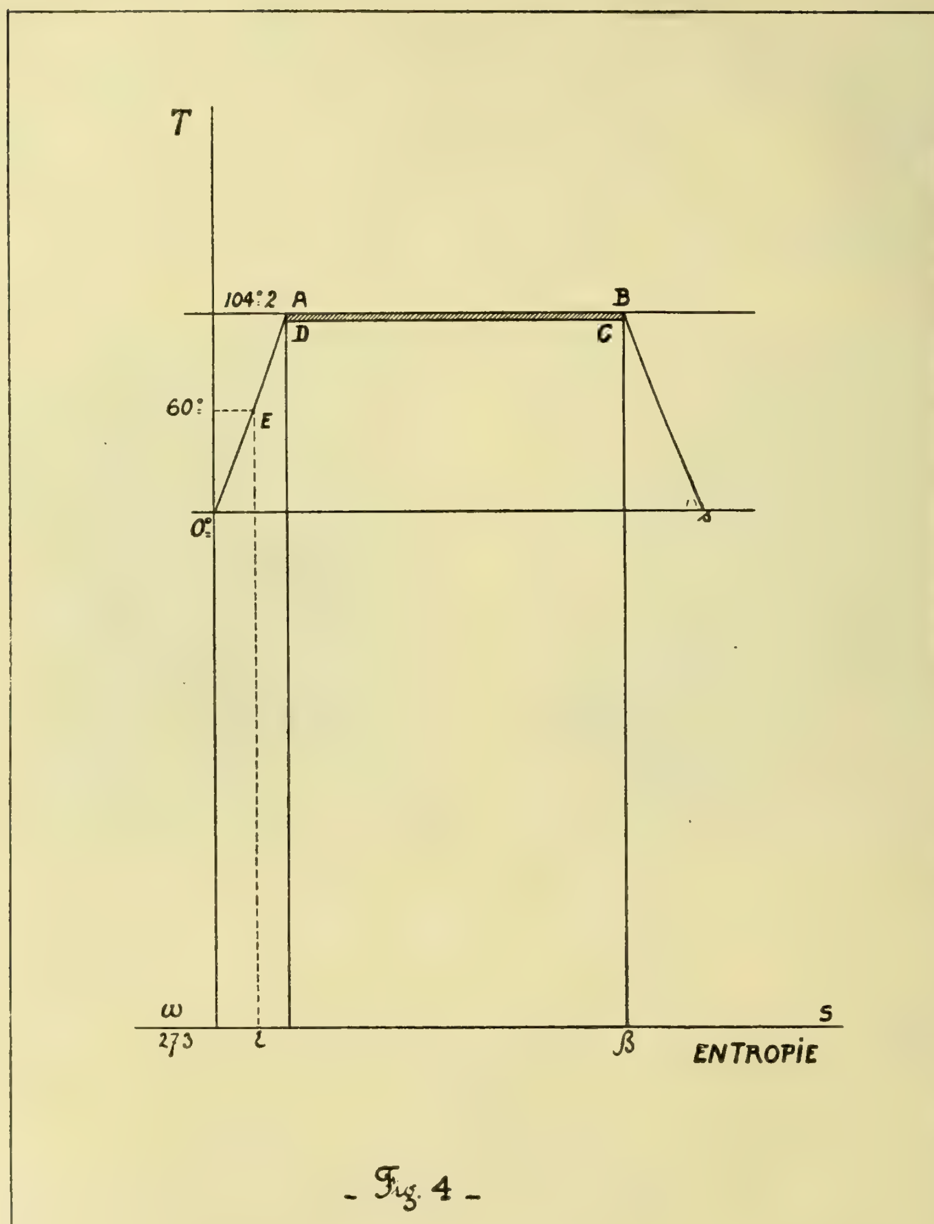


Fig. 4. — Diagramme entropique.

On trouve, en planimétrant, environ $\frac{1}{100}$.

En pratique, la détente n'est pas adiabatique et la turbine ne transforme en travail que $\frac{1}{5}$ environ des calories représentées par l'aire ABCD car son

rendement n'est que de 20 p. 100 environ. La proportion ci-dessus s'abaisse donc à :

$$\frac{1}{5} \times \frac{1}{100} \quad \text{soit} \quad \frac{2}{1000}.$$

Le diagramme de Mollier (fig. 5), également tracé à l'échelle, indique encore plus rapidement les mêmes résultats.

L'ordonnée AC représente le nombre de calories de la vapeur fournie par la chaudière;

BC les calories contenues dans la vapeur d'échappement. La différence AB = 6 calories est la chaleur pouvant être transformée en travail.

Les calories restituées au générateur sont représentées par DE = D'C. Celles fournies au chauffage par BD' = BC — DE et enfin celles fournies par la chaudière AC — DE = AD'.

L'augmentation relative de chaleur absorbée par la force motrice s'exprimera donc par le rapport :

$$\frac{AB}{BD'} = \frac{6}{643 - 60} \quad \text{soit} \quad \frac{1}{100} \text{ environ.}$$

En raison du faible rendement thermique de la turbine (20 p. 100), l'augmentation relative pratique sera 5 fois moindre que l'augmentation théorique. La puissance disponible est d'ailleurs elle-même 5 fois moindre.

Ce qui précède démontre d'une manière irréfutable l'importante économie réalisée sur les systèmes empruntant la force motrice à l'extérieur. *On peut dire qu'avec le système dynamo-circuit, la force motrice est pratiquement gratuite.*

E. — Dynamo-circuit à eau chaude.

Description. — Une installation de dynamo-circuit à eau chaude comprend :

1° Une chaudière à vapeur à basse pression à fonctionnement (fig. 6) continu et automatique (ou plusieurs chaudières accouplées suivant l'importance de l'installation);

2° Un groupe turbo-pompe;

3° Un condenseur à surface;

4° Des appareils de réglage et de distribution;

5° La tuyauterie de circulation d'eau chaude;

6° Les surfaces de chauffe munies de leurs robinets de réglage.

Sur le schéma ci-contre (fig. 7) :

B est une chaudière à vapeur à fonctionnement continu. Elle est munie de son régulateur hydraulique de pression *G* qui agit sur l'entrée d'air sous la grille.

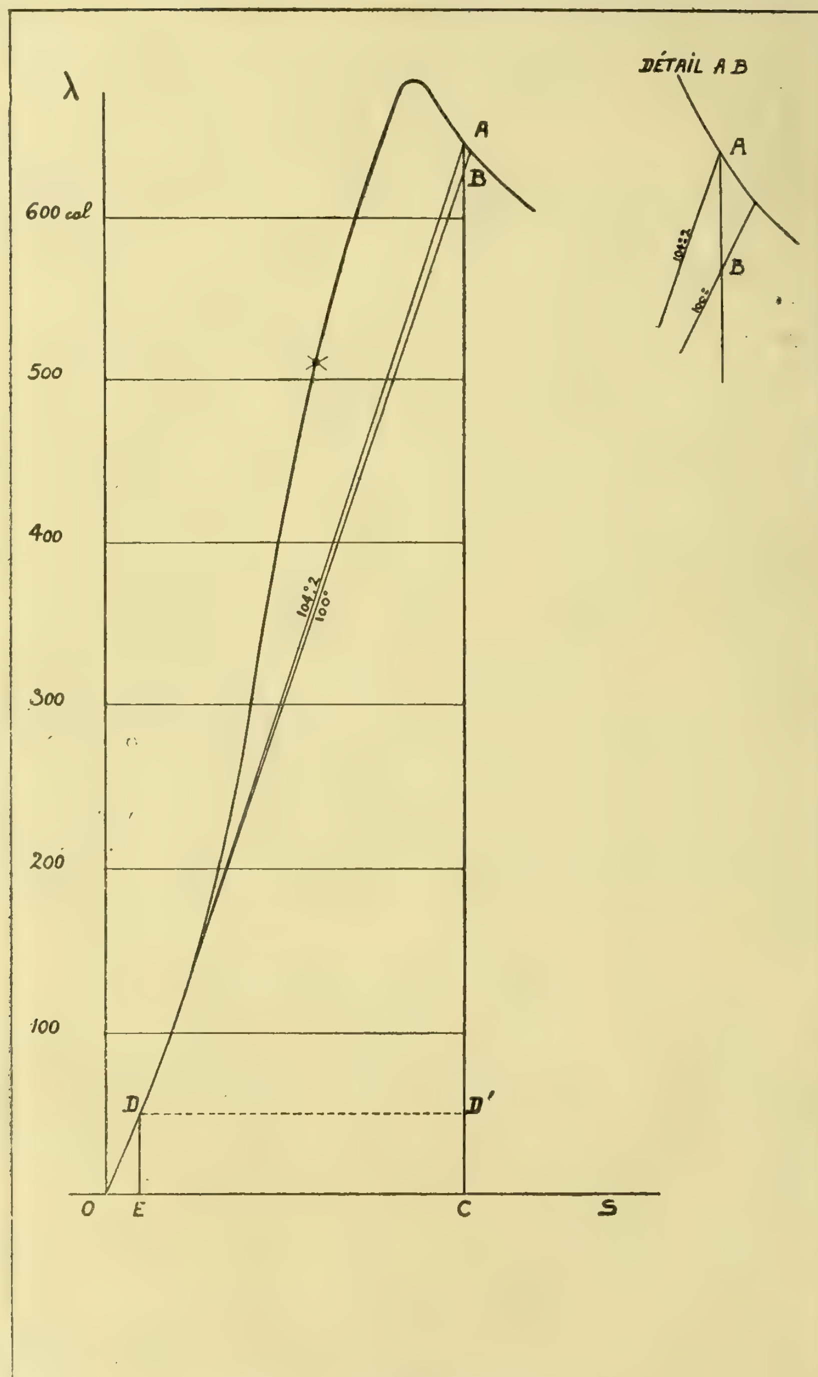


Fig. 5. — Diagramme de Mollier.

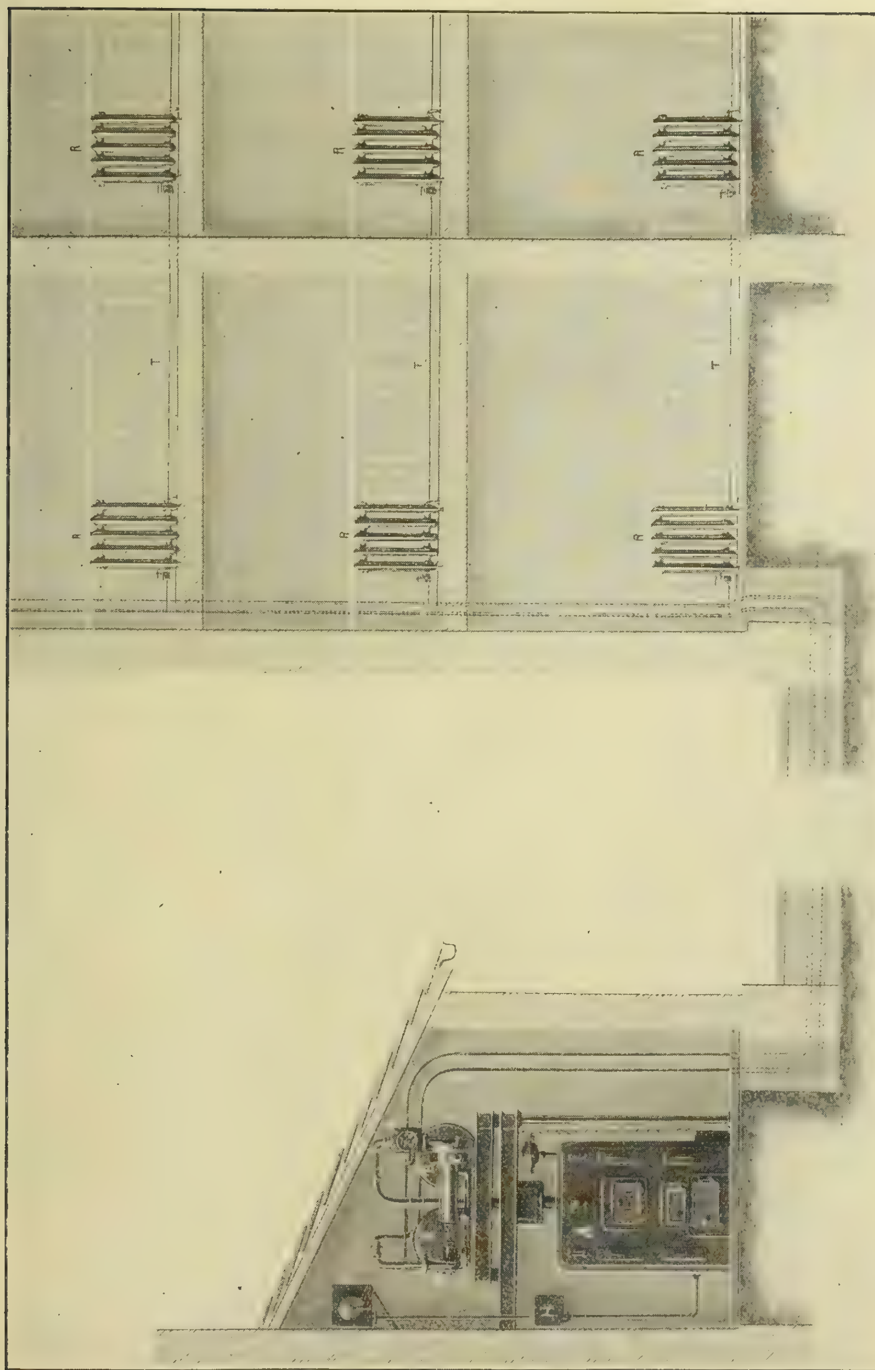


Fig. 6. — Installation de dynamo-circuit à eau chaude.

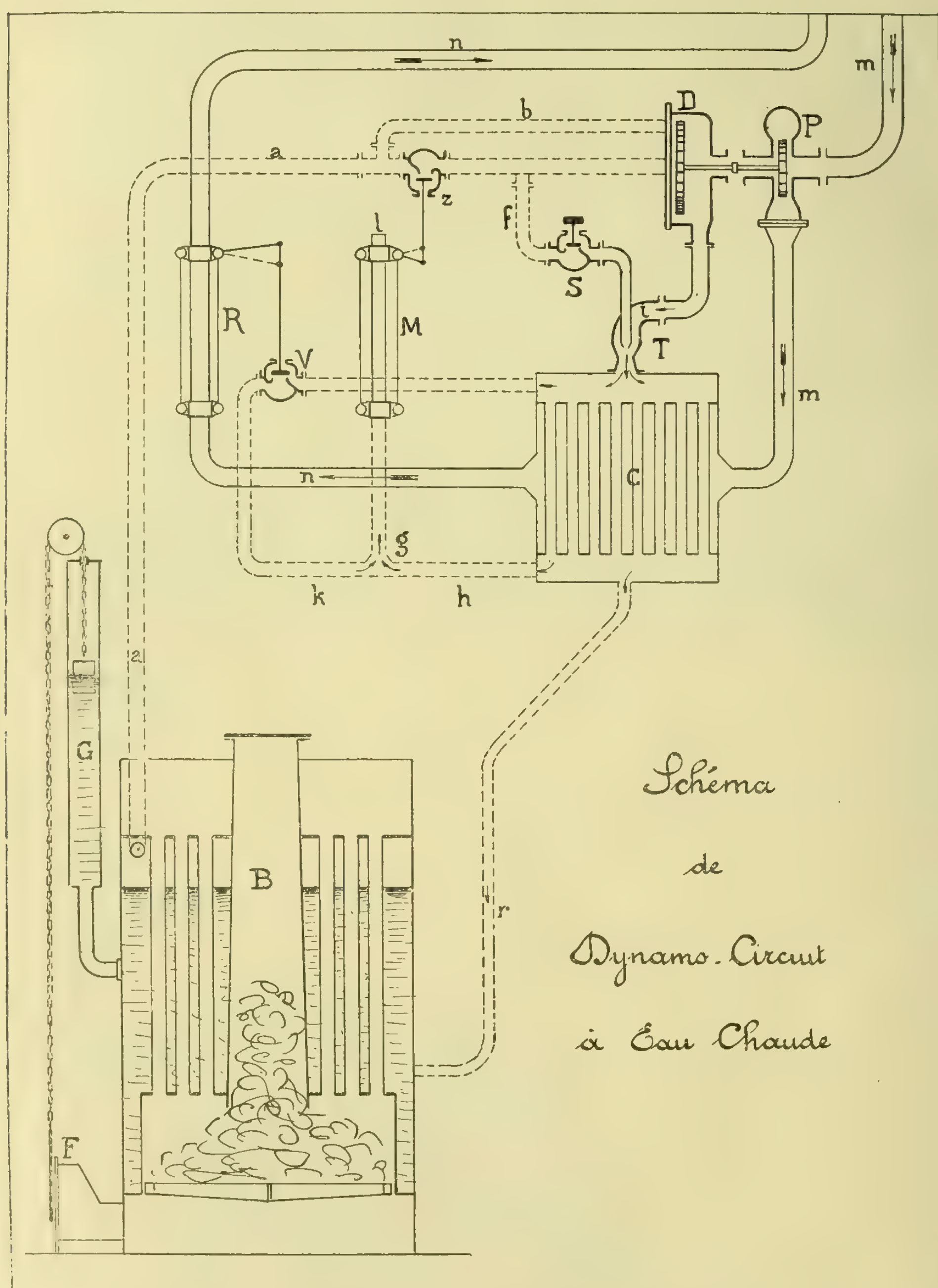


Fig. 7. — Schéma de dynamo-circuit à eau chaude.

La vapeur produite dans la chaudière, peut se rendre par la conduite *a* soit directement au moteur *D* par *b*, soit en passant par la soupape *z*. Une partie de la vapeur peut se rendre au condenseur *c* en passant par la soupape de réglage *z* et la soupape automatique *S*. *M* est un thermo-moteur qui fonctionne par l'inégale dilatation de deux métaux. Cet appareil agit sur la soupape *z* quand la vapeur passe par le tube *g*.

R est un régulateur automatique de température qui agit sur une soupape V.

r est la conduite de retour de l'eau de condensation à la chaudière.

La soupape *S* est équilibrée de telle manière qu'elle ne commence à s'ouvrir que lorsque la pression de la vapeur atteint une pression légèrement inférieure à la pression de marche normale.

P est la pompe de circulation d'eau.

n, la conduite de départ aux surfaces de chauffe.

m, la conduite de retour.

Le fonctionnement est le suivant.

Dès que la chaudière entre en pression, la vapeur est admise dans le moteur par les conduites *b* et *c*. La soupape *z* est ouverte tant que le condenseur n'est pas entièrement rempli de vapeur, ou bien tant que la température que l'on désire obtenir pour l'eau de circulation, n'est pas atteinte. Le régulateur *R* ne commence en effet à agir sur la vanne *V*, que lorsque l'eau a atteint la température de réglage.

Cette température de réglage est variable suivant la température extérieure. Quand la pression de marche normale est atteinte à la chaudière, elle est maintenue constante par le régulateur *G*. La soupape *S* se lève et une partie de la vapeur vient se condenser directement dans le réchauffeur d'eau *c*. L'échappement du moteur est envoyé au condenseur par une tubulure T. Cette dernière est combinée avec la tuyère *i* qui produit l'entraînement de la vapeur d'échappement.

Le rôle de la soupape *S* est important. En effet, les tubulures *b* et *c* sont calculées pour n'admettre qu'une quantité de vapeur inférieure à la quantité nécessaire au chauffage pour l'allure la plus réduite. Pendant la période de mise en marche, et pendant la période de décroissance de la pression, toute la vapeur disponible à la chaudière est admise au moteur et le mouvement de la pompe se trouve assuré.

Le réglage de la température se fait par la manœuvre du curseur du régulateur R.

Nous représentons ci-contre (fig. 8) des diagrammes indiquant les températures de l'eau au départ et au retour, diagrammes pris en 1912 dans l'installation du chauffage d'un immeuble parisien.

La température de départ s'est maintenue dans le voisinage de 35° pendant 24 h. Celle de retour dans le voisinage de 32°.

La même installation a donné des diagrammes analogues en marche, voisine de la marche maxima.

Le départ étant à 85°, le retour s'est maintenu dans le voisinage de 65°.

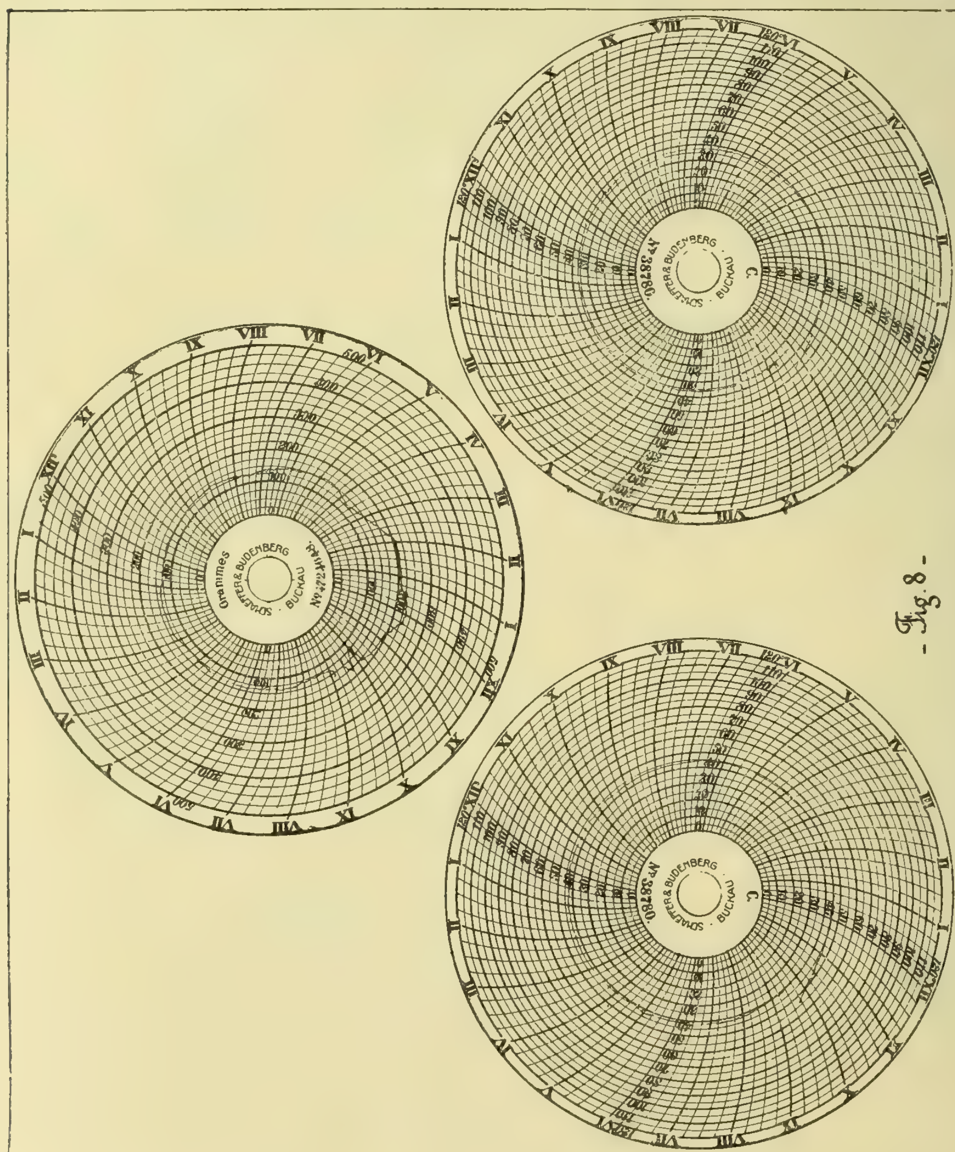


Fig. 8. — Diagrammes de température et diagramme de pression.

Les diagrammes relevés sur plusieurs radiateurs ont montré que leur température moyenne s'était maintenue pendant 24 heures constamment entre ces deux limites.

Je dois ici répondre à quelques objections faites à ce système.

1° Le fait d'élever la pression de la vapeur pour la condenser ensuite, ne cor-

respond-il pas à une perte importante de calories? Il suffit pour répondre à cette objection, d'examiner de nouveau la figure 4 (diagramme entropique). La pression de la vapeur n'est élevée juste que de la quantité nécessaire pour produire le travail utile pour la circulation de l'eau. Or, la quantité de chaleur qui correspond à ce travail est très petite (rectangle ABCD) et utilisée entièrement pour le chauffage.

2º La distribution à volume variable telle qu'elle est effectuée dans le dynamo-circuit, ne met-elle pas ce système en état d'infériorité sur celui qui emploie une pompe de circulation mue électriquement, en donnant une charge constante à toutes les températures.

Dans nos distributions à volume variable, nous ne dépassons pas le rapport du 1 à 0,75 entre le maximum et le minimum de débit. Nous pouvons du reste maintenir ce débit sensiblement constant pendant la période où l'on réduit le chauffage du maximum au 1/3, et ne réduire le débit que pendant la réduction du 1/3 au 1/6. Nous estimerons que, dans ces conditions, et l'expérience le confirme, il ne peut se produire, dans la répartition de la chaleur, des différences appréciables. Dans une distribution bien étudiée, en effet, il faut arriver à une différence de débit très importante dans un radiateur (la température initiale de l'eau étant la même) pour diminuer de même 10 p. 100 son rendement en calories. Or, dans cette période de réduction, les écarts de température varient de 8 à 4 degrés, entre ces pièces et l'extérieur. S'il y a une différence, elle se réduit donc à une petite fraction de ces écarts.

Avec un débit variable, comme avec un débit fixe, du reste, on n'obtient pas une répartition théoriquement et obligatoirement proportionnelle des calories dans les diverses pièces, mais une approximation très suffisante en pratique. Il est facile de voir qu'aucun système, même celui par pompe électrique avec soupape régulatrice de pression, ne réalise ce desideratum.

En effet, dans ce dernier système, à la charge de la pompe vient se superposer la charge du thermosiphon, qui peut créer des différences de 15 à 20 cm d'eau entre le maximum et le minumum dans un édifice à plusieurs étages.

D'autre part, si l'on ferme des radiateurs sur un circuit, malgré l'action d'une soupape régulatrice au départ, la distribution sera modifiée dans les autres radiateurs, et considérablement dans ceux qui se trouvent sur la même dérivation.

Or, quelle que soit la nature du bâtiment chauffé, et quelle que soit la précision du réglage général, il y aura toujours des radiateurs fermés, car la sensation de chaud et de froid dépend essentiellement du tempérament et de l'état de santé de l'habitant.

Il paraît donc impossible d'établir un chauffage dont le fonctionnement reste théoriquement et pratiquement parfait, comme répartition des calories à toutes les allures et dans toutes les éventualités.

Nous pensons que le régime décrit plus haut a un coefficient de régularité largement suffisant.

3° La température de l'eau des chaudières d'un système dynamo-circuit, étant supérieure à 100°, les gaz à la combustion ne sont-ils pas aussi bien refroidis que dans le cas de chaudières à eau chaude, à chauffage direct de l'eau et le rendement thermique de l'installation ne se trouve-t-il pas de ce fait moins élevé?

Le rendement thermique du générateur n'est pas seulement fonction de la tem-

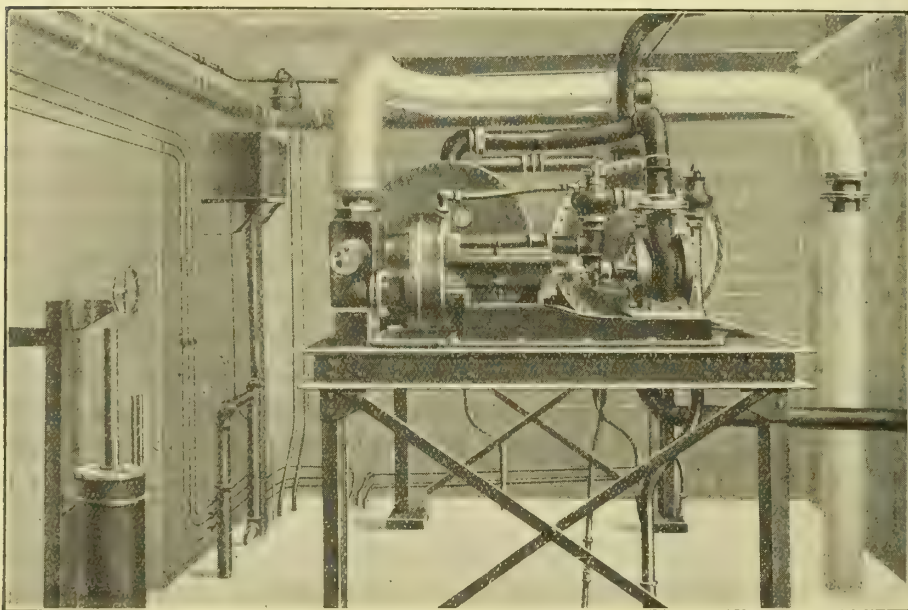


Fig. 9. — Groupe de circulation.

pérature de l'eau. Il dépend principalement de la différence entre la température des gaz dans le foyer et celle à la sortie de la chaudière.

Or, qu'il s'agisse de générateur à vapeur ou à eau chaude, la sortie des gaz reste généralement supérieure à 150°, température nécessaire pour le bon tirage de la cheminée.

L'utilisation de la chaleur contenue dans les gaz de la combustion peut donc être aussi bonne avec l'emploi d'un générateur de vapeur (18).

La figure 9 représente une vue d'ensemble des appareils de circulation, la figure 6 un schéma d'ensemble d'une installation.

(18) Au point de vue de la durée de la chaudière, il est reconnu que les tôles s'usent rapidement, lorsque l'eau est au-dessous de 100°. Cet inconvénient a été constaté dans les économiseurs des grandes chaudières industrielles. Nous avons nous-mêmes constaté que nos chaudières à vapeur avaient une durée supérieure à celles à eau chaude.

Caractéristiques du système. — Le dynamo-circuit à eau chaude possède tous les avantages généraux du chauffage à eau chaude par densité : réglage général de la température, conservation prolongée de la tuyauterie et des appareils, avantages hygiéniques par suite de la faible élévation de température des surfaces de chauffe, les poussières en suspension dans l'air n'étant pas décomposées, l'air n'étant pas desséché (19).

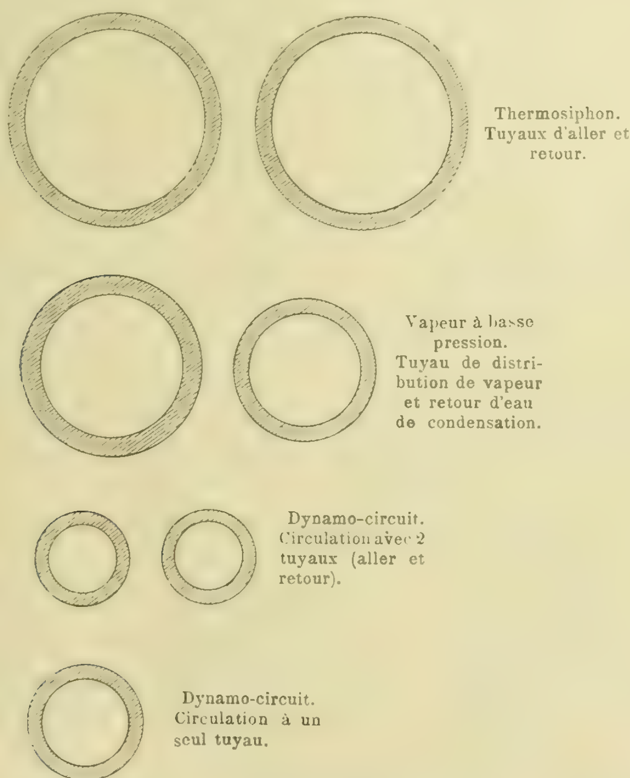


Fig. 10. — Comparaison entre les diamètres moyens des tuyauteries suivant les différents systèmes.

Il permet de faire circuler l'eau chaude à grande vitesse dans des canalisations de diamètre très réduit, sans observation de pentes régulières, avec une différence de température n'excédant pas 20° entre l'aller et le retour (20).

Le tableau ci-contre (fig. 10) permet la comparaison des différentes sections

(19) Le système de chauffage par la vapeur, tel qu'il est généralement installé actuellement, ne permet pas le réglage général de la température. Les variations de pression à la chaudière ne correspondent pas aux variations des quantités de chaleur émises par les surfaces de chauffe. Il est d'autre part pratiquement impossible d'obtenir une égale répartition de la chaleur dans les pièces chauffées à tous les régimes de marche.

Les surfaces de chauffe à une température de 102° produisent beaucoup plus le noircissage des peintures qu'avec le chauffage par l'eau chaude. Dans le chauffage par la vapeur, l'air humide désagrège peu à peu les tubes de fer et surtout les conduites de retour d'eau de condensation.

(20) Les canalisations du chauffage par la vapeur, comme ceux du thermosiphon, nécessitent des pentes régulières pour leur bon fonctionnement.

à donner aux canalisations pour les principaux systèmes de chauffage employés.

Ce système conduit à une économie de combustible par rapport au thermosiphon et surtout par rapport au chauffage à vapeur. En effet, les conduites principales de distribution qui passent dans les locaux, sont à des températures qui varient avec le régime de marche. Ces conduites peuvent donc servir au chauffage des locaux et, dans le cas contraire, les pertes de chaleur sont ramenées au minimum en raison des dimensions très réduites des canalisations (21).

Le faible volume d'eau permet une mise en marche rapide.

Le dynamo-circuit présente une plus grande sécurité que le chauffage par l'eau chaude ordinaire. La pression statique de l'eau ne varie que très légèrement. Elle ne peut être augmentée en certains points que de la pression dynamique qui détermine la circulation et qui ne dépasse pas 5 m de hauteur d'eau. La masse d'eau n'est pas mise directement en contact avec les parois chaudes du foyer, et les risques d'explosion sont entièrement écartés (22).

Nous avons vu que le système était autonome, et qu'il ne nécessitait pratiquement aucune dépense supplémentaire de force motrice (23).

Tous les appareils de circulation sont placés dans la chaufferie ce qui facilite la surveillance et le réglage (24).

Les chaudières peuvent être installées au même niveau et même au-dessus des radiateurs, au besoin même dans un bâtiment voisin.

Remarquons en passant que la distribution des tuyauteries se prête à l'installation des compteurs de calories. Nous savons que dans les immeubles à loyer des grandes villes, le moyen le plus pratique d'obtenir des économies de combustible consiste à intéresser chaque locataire à ces économies.

La circulation d'eau chaude peut être faite suivant le schéma ci-contre (fig. 11).

Or, ce mode de distribution par étages n'est possible qu'avec une circulation très active.

Les compteurs, quel que soit leur principe, qu'il s'agisse de compteurs électrolytiques avec couples thermo-électriques d'application, ou de compteurs

(21) Avec le chauffage par la vapeur, il est absolument impossible de faire varier la quantité de chaleur dégagée par les canalisations. Que celles-ci soient calorifugées ou non, le nombre de calories qu'elles dégagent est à peu près constant à tous les régimes de marche. Ce nombre peut être par temps doux, supérieur à celui qui est nécessaire dans les locaux qu'elles traversent.

Avec le thermosiphon, les canalisations principales sont de très fort diamètre et la quantité de chaleur qu'elles dégagent dans les locaux qui ne doivent pas êtres chauffés, peut être considérable.

(22) Le chauffage direct de l'eau dans la chaudière, soit dans un thermosiphon, soit dans une circulation accélérée par pompe mue électriquement ou par émulsion, présente un grave danger en cas d'obstruction des conduites, ou en cas d'arrêt fortuit de la pompe de circulation.

(23) Dans le cas de chauffage par circulation accélérée avec moteur électrique, la dépense d'électricité peut atteindre 5 p. 100 en marche maxima et 15 p. 100 en marche réduite, de la dépense de combustible.

(24) Dans les installations de circulation accélérée par émulsion, les appareils de condensation sont placés à la partie supérieure des immeubles. Ils nécessitent, en outre, des conduites supplémentaires de fort diamètre les reliant aux chaudières.

thermo-volumétriques, peuvent être appliqués facilement sur les collecteurs d'entrée et de sortie des appartements.

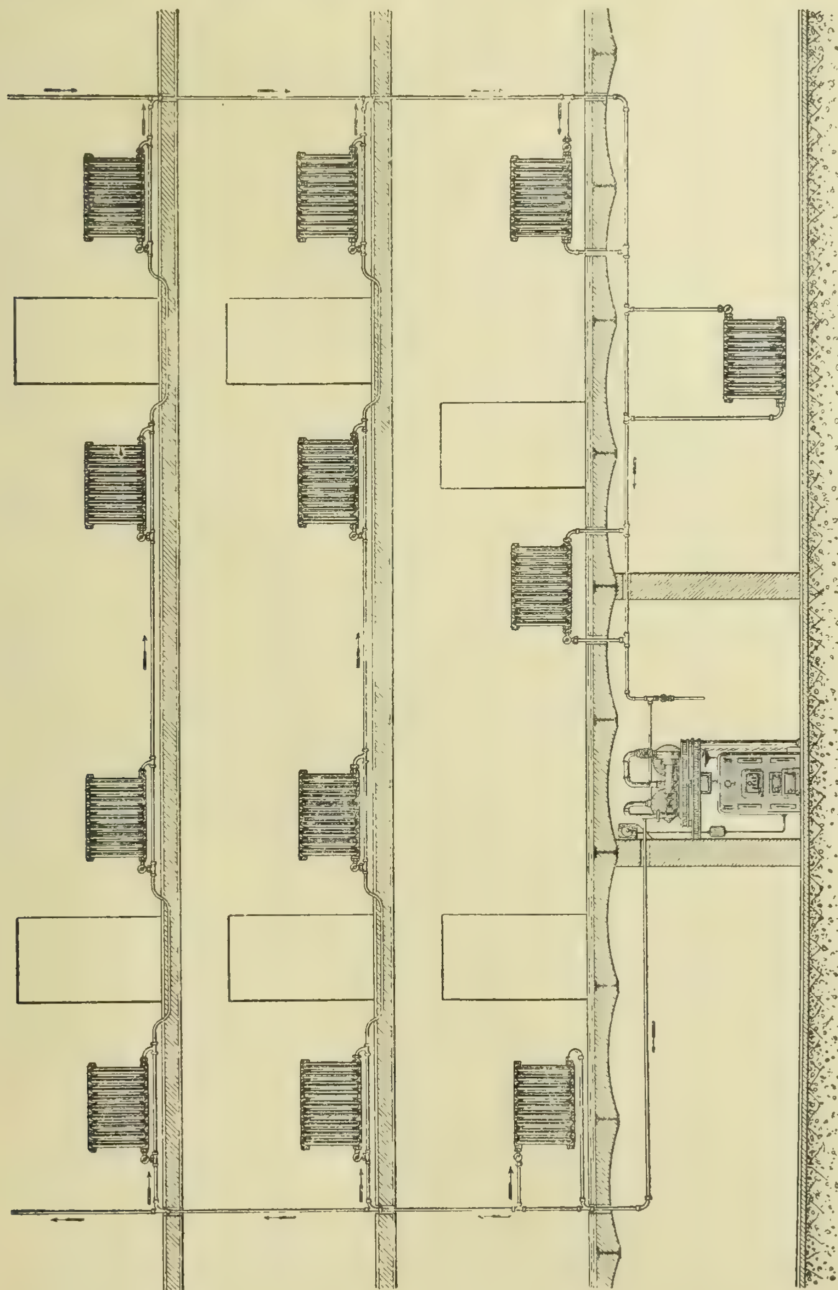


Fig. 11. — Schéma de distribution de chauffage à eau chaude.

Applications. — De nombreuses applications du système dynamo-circuit à eau chaude ont été faites depuis 1912. La figure 9 représente un *appareil de cir-*

culation pour 750.000 calories. La figure 12 représente la *chaufferie d'une installation de 350 radiateurs.* La figure 13 représente les *appareils de circulation d'une double installation* : deux immeubles voisins, une compagnie d'assurances et un immeuble de rapport contigus, sont chauffés par une même batterie de chaudières qui alimente les groupes de circulation. Cette batterie alimente en outre les appareils de réchauffage d'air de la ventilation mécanique, ainsi que le service de distribution d'eau chaude.

La figure 14 se rapporte au *système de circulation par turbo-pompe appliqué*

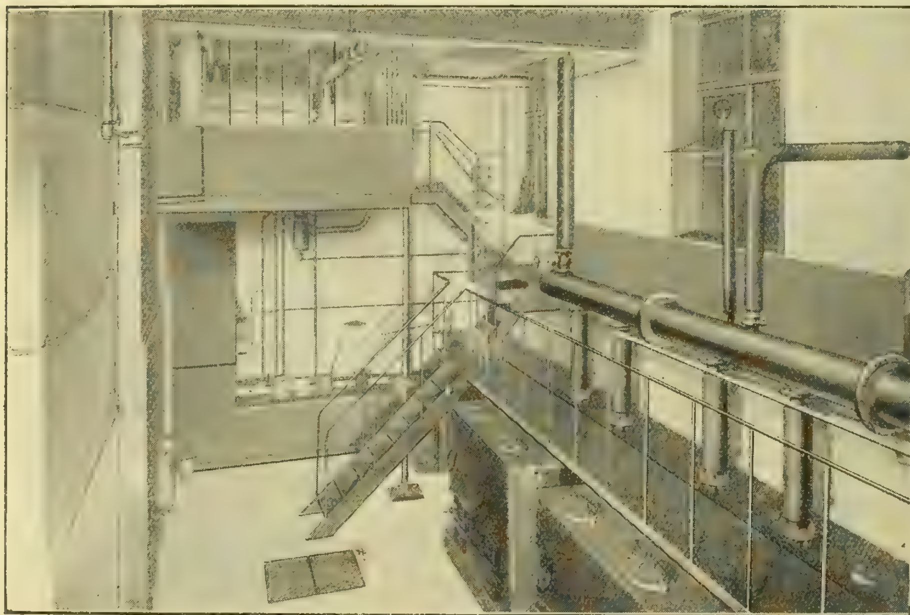


Fig. 12. — Chaufferie d'une installation de chauffage par l'eau chaude système dynamo-circuit.

en 1912 *à la distribution d'eau chaude d'un important hôpital parisien.* L'eau chaude est en circulation sur une longueur de plus de 800 m. En raison de sa vitesse, elle arrive immédiatement chaude à chaque prise, ce qu'il eût été impossible d'obtenir avec une circulation par densité. De plus, les canalisations étant d'un diamètre réduit, il en résulte une notable économie de combustible.

Le dynamo-circuit a permis la réalisation d'une *centrale thermique de chauffage comprenant 17 immeubles parisiens* (fig. 15) : 1.130 radiateurs sont alimentés par une seule chaufferie. La puissance horaire de l'installation est de 1.485.000 calories. Les circuits de distribution des radiateurs les plus éloignés ont un parcours d'environ 350 m.

Un groupe de 8 chaudières est installé dans la cave de l'un des immeubles; les deux groupes de circulation sont placés immédiatement au-dessus. Chacun

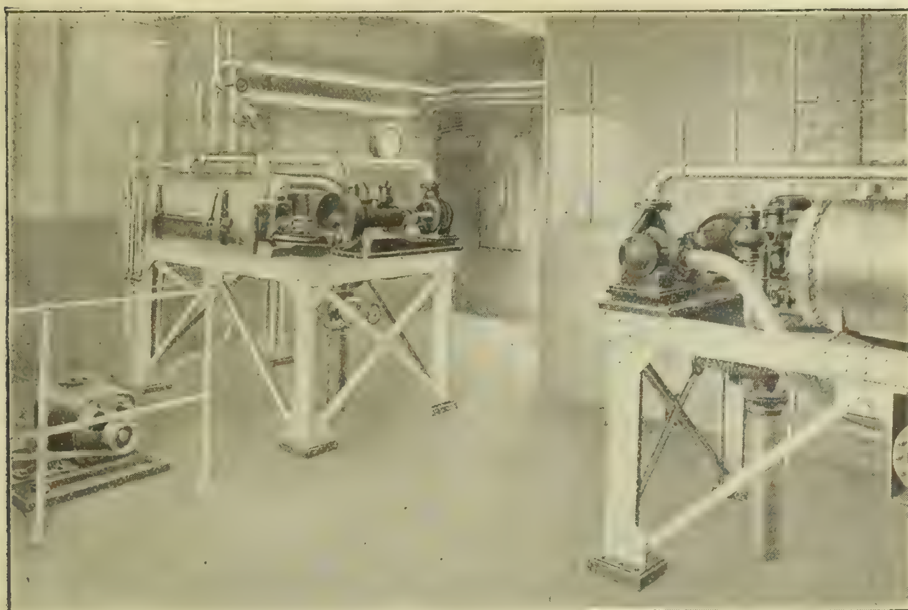


Fig. 13. — Salle de distribution de chaleur et de ventilation d'un groupe de 2 immeubles.

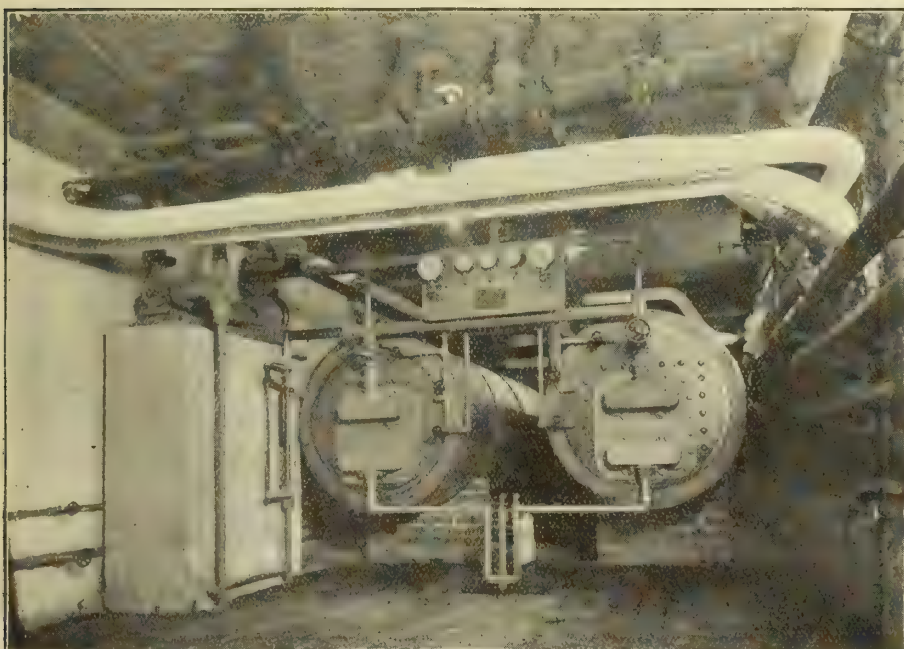


Fig. 14. — Appareils de production et de distribution d'eau chaude dans un hôpital.

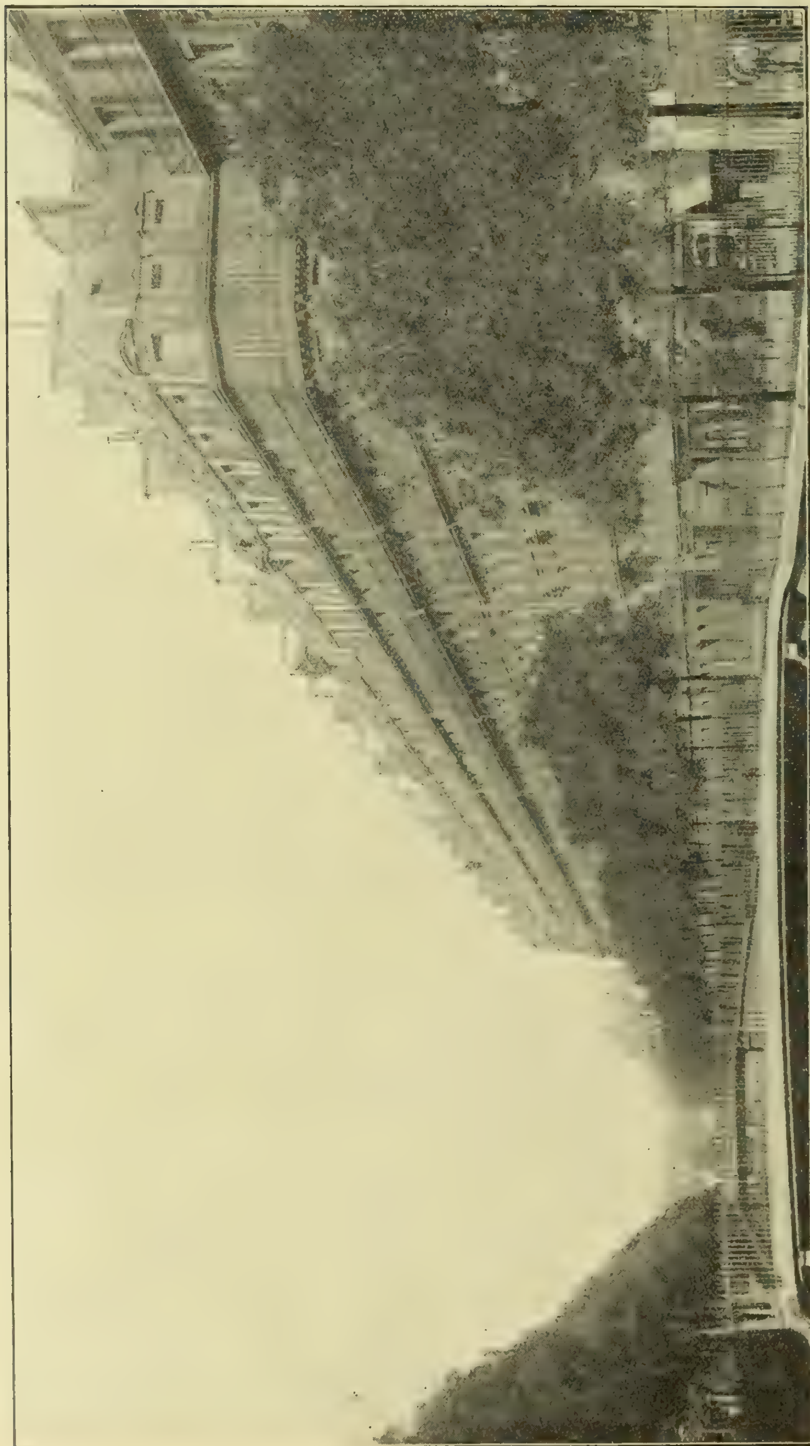


Fig. 15. — Vue extérieure d'un groupe de 17 immeubles chauffés par centrale thermique à Paris.

de ces groupes (fig. 16) est susceptible de faire circuler l'eau chaude en pleine allure de marche. Les 8 chaudières sont disposées en 2 séries de 4 pouvant alimenter chacune l'un des groupes. Un dispositif de vannes (fig. 17) permet la manœuvre. Ces dispositions sont établies en vue de parer à tout arrêt de fonctionnement en cas de nettoyage ou de réparation.

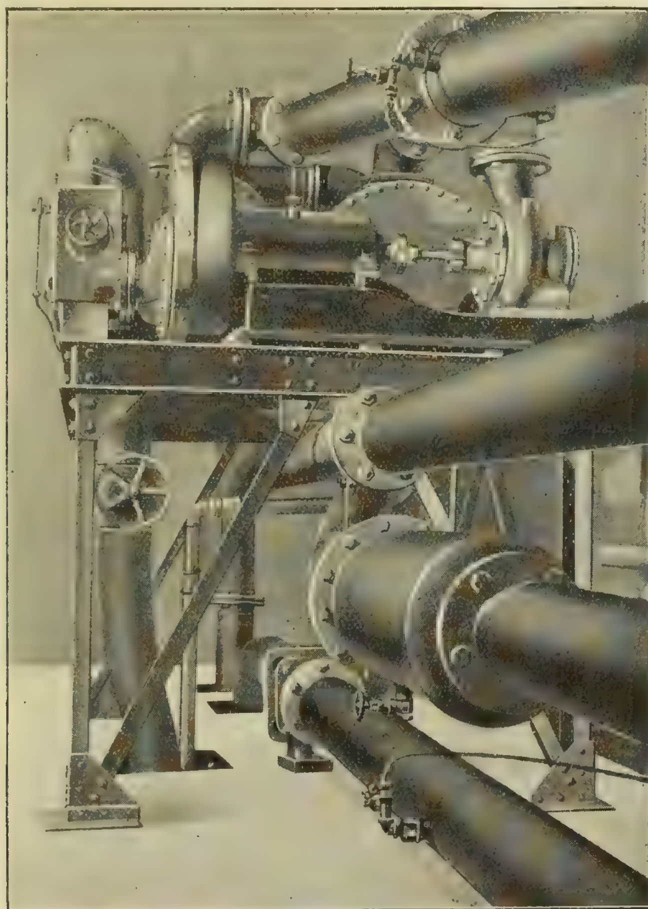


Fig. 16. — Groupe de circulation système dynamo-circuit pour un groupe de 17 immeubles.

L'eau chaude est conduite directement au vase d'expansion placé dans les combles. Des distributions horizontales placées dans les couloirs du 6me étage de tous les immeubles, la répartissent dans les différentes colonnes verticales descendantes alimentant les groupes de radiateurs des appartements.

Les retours d'eau sont ramenés au plafond des caves. Toutes les conduites de distribution et de retour sont calorifugées.

Il nous paraît intéressant de donner ici quelques chiffres permettant la comparaison entre l'installation réalisée et les projets établis pour le chauffage des mêmes immeubles avec l'emploi soit de la vapeur à basse pression, soit du chauffage à eau chaude par thermosiphon, en supposant que les canalisations aient pu suivre le même chemin, ce qui d'ailleurs eût été impossible avec l'emploi de

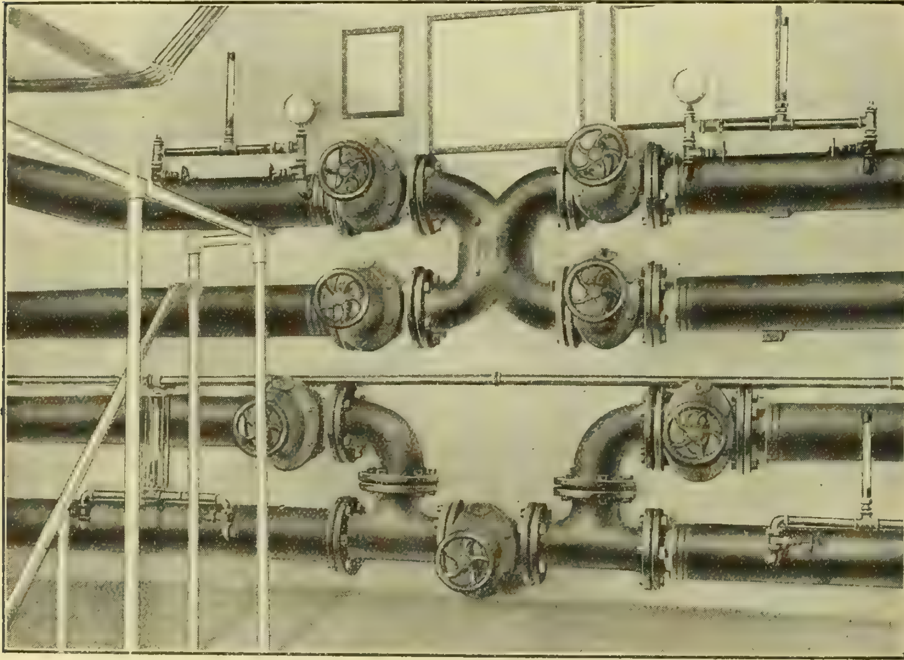


Fig. 17. — Tuyauteries et vannes d'intercommunication entre deux groupes de circulation.

la vapeur à basse pression, en raison de la difficulté de ramener par gravité les retours à la chaufferie.

	Eau chaude.	Vapeur, basse pression.	Dynamo-circuit.
1° Diamètre du collecteur vertical de départ (millimètres)	300	200	160
2° Sections (centimètres carrés)	706	314	201
3° Nombre de calories non utilisées par les canalisations non employées au chauffage (conduits calorifugés) :			
Marche maxima (calories)	64.000	54.000	32.000
Marche réduite —	30.000	54.000	15.000

Résultats. — Les consommations de combustible qui ont été relevées dans cette installation, montrent l'efficacité du réglage général de la température.

Nous représentons (fig. 18) deux courbes dont les ordonnées sont portées

positivement en ce qui concerne les quantités de combustible qui ont été consommées réellement par 24 h. et négativement pour les minima de température

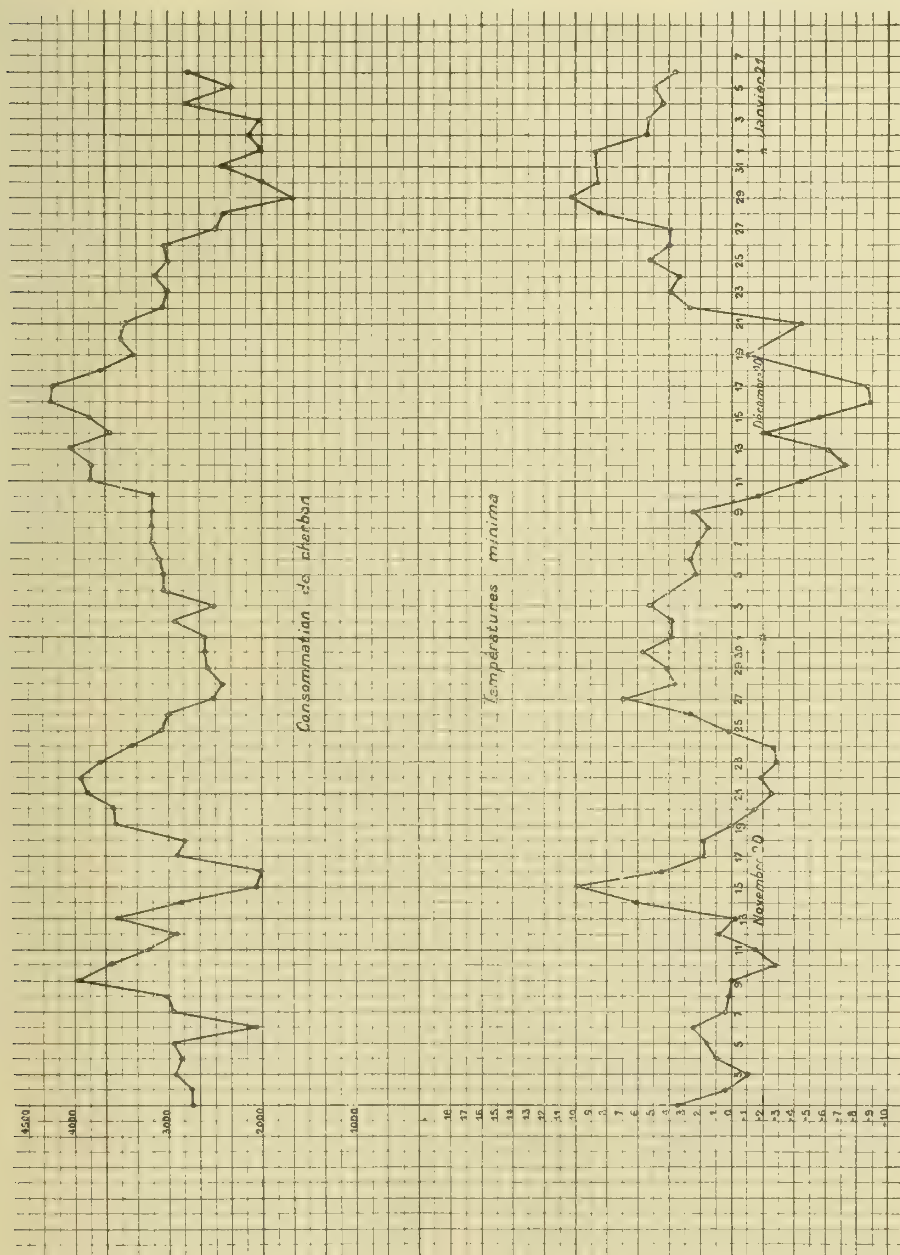


Fig. 18. — Consommation de charbon et températures minima extérieures.

extérieure journalière, la température ayant été maintenue à 18° dans les pièces chauffées.

On a pu constater que la personne chargée de la conduite de l'installation, avait bien fait suivre au régulateur de température les variations du thermomètre extérieur.

Le relevé de la consommation totale, faite dans cette installation pendant l'hiver, a démontré également l'économie du système. Cette consommation a été de : 519.000 kg pour un hiver de 150 jours, soit, avec du charbon à 200 f la tonne une dépense de 103.800 f. Or, la consommation totale peut s'évaluer théoriquement de la manière suivante :

Il résulte de statistiques relevées sur un certain nombre d'installations, que l'on peut admettre dans la région parisienne que, pour un hiver de 150 jours, la consommation réelle est environ la moitié de la consommation théorique maxima.

Elle s'établit donc comme suit :

$$\frac{1.485.000 \times 24 \times 150}{4.000} \times \frac{1}{2} = 668.250 \text{ kg.}$$

L'économie annuelle avec du combustible à 200 f la tonne est donc :

$$(668.250 - 519.000) \frac{200}{1000} = 29.850 \text{ f, soit environ 30 p. 100.}$$

Il est également intéressant de calculer pour cette installation, la quantité de combustible nécessaire pour produire la force motrice de circulation.

Appliquons la formule :

$$n = \frac{P \times 3.600}{R \times 427}.$$

Le débit de la pompe étant de 75.000 l par heure soit 20,8 l par seconde, et la pression moyenne de 4,50 m de hauteur d'eau, le travail effectif sera :

$$T = 20,8 \times 4,5 = 93,6 \text{ kgm.}$$

En ne prenant pour la pompe qu'un rendement de 40 p. 100, le travail à fournir par le moteur devra être :

$$\frac{93,6}{0,4} = 234 \text{ kgm.}$$

En prenant pour le rendement mécanique de la turbine $R = 0,9$, le nombre de calories transformées en travail sera :

$$\frac{234 \times 3.600}{0,9 \times 427} = 2.190 \text{ calories.}$$

En prenant le charbon à son prix actuel, soit environ 200 f la tonne, le prix horaire de la force motrice sera de :

$$\frac{2.910 \times 0,20}{4.000} = 0,1095 \text{ f.}$$

La dépense annuelle sera de :

$$0,1095 \times 24 \times 150 = 394,20 \text{ f.}$$

Établissons la dépense dans le cas d'emploi d'un moteur électrique.

La puissance en chevaux-vapeur est

$$\frac{234}{75} = 3,12 \text{ ch.}$$

Le moteur consommant environ 1 kW par cheval, la consommation totale d'électricité pour les 150 jours de chauffage sera

$$3,12 \times 24 \times 150 = 11.232 \text{ kW.}$$

soit pour Paris une dépense annuelle de :

$$11.232 \times 0,95 = 10.670,40 \text{ f.}$$

Ce nombre fait ressortir l'importante économie réalisée par l'emploi de la vapeur à basse pression du chauffage.

Ajoutons qu'une seule personne, assistée de 2 à 3 manœuvres pour la manutention du charbon, assure le service.

F. — Dynamo. Circuit à air chaud.

Description. — Une installation de dynamo-circuit à air chaud (fig. 19) comprend :

1° Une ou plusieurs chaudières à vapeur à basse pression;

2° Un groupe moteur-ventilateur;

3° Une batterie d'aéro-condensation;

4° Les appareils de réglage et de distribution;

5° Les conduites de distribution d'air chaud avec leurs bouches de réglage.

L'inspection du schéma ci-contre (fig. 20), analogue à celui relatif au dynamo-circuit à eau chaude, permet de comprendre aisément le fonctionnement.

Le réglage de la température de l'air distribué aux locaux à chauffer s'opère à la sortie de la batterie de condensation au moyen du régulateur R.

Le réglage peut être également fait à la main par la manœuvre de vannes d'admission de vapeur au moteur et à l'aéro-condenseur. La figure 21, montre les dispositions adoptées pratiquement.

Caractéristiques du système. — L'emploi du dynamo-circuit à air chaud dans les habitations, permet de supprimer les radiateurs dans les pièces chauffées et d'y installer des bouches de chaleur. Les conduites de distributions d'air chaud de sections très réduites encombrent peu les caves.

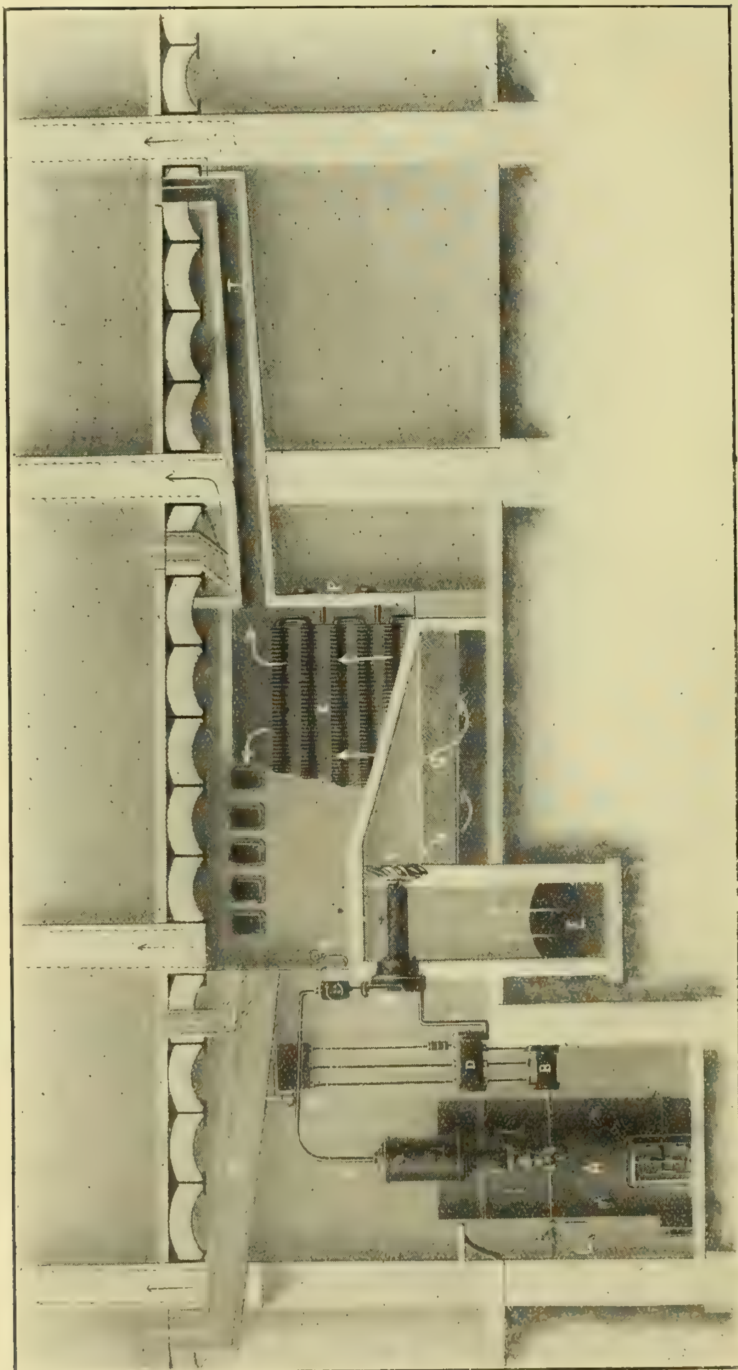


Fig. 19. — Aéro-calorifère dynamo-circuit.

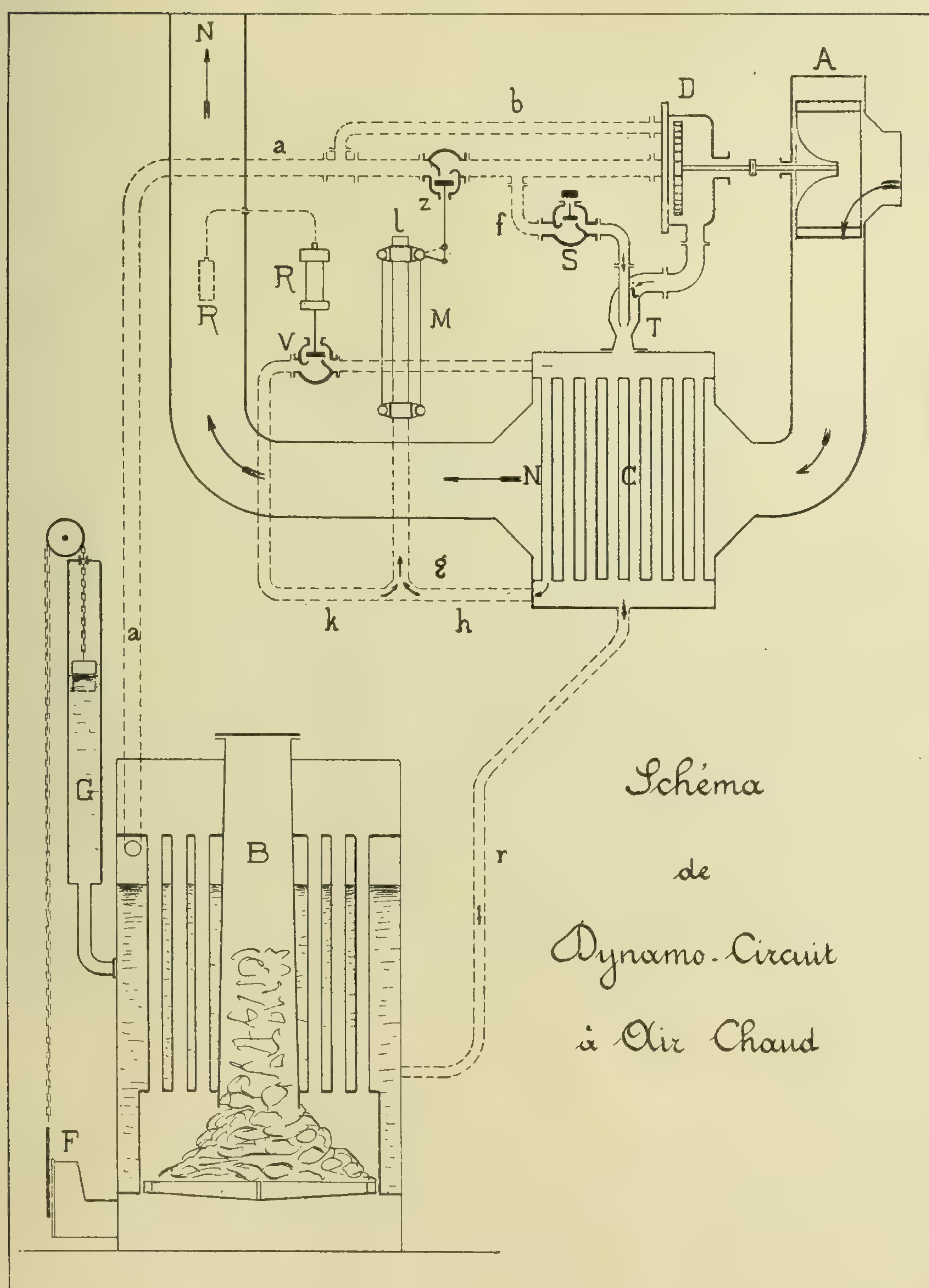


Fig. 20. — Schéma de dynamo-circuit à air chaud.

Le dynamo-circuit à air chaud, supprime la dépense d'énergie électrique nécessaire pour obtenir la pression de l'air chaud. Avec ce système, il est possible de faire le réglage de la température.

L'insufflation d'air déterminant un léger excès de pression dans les pièces chauffées, on évite des rentrées d'air froid par les fissures des fenêtres et la chaleur est répartie uniformément. Il est en outre possible de filtrer, d'humidifier et même d'ozoniser l'air destiné au chauffage.

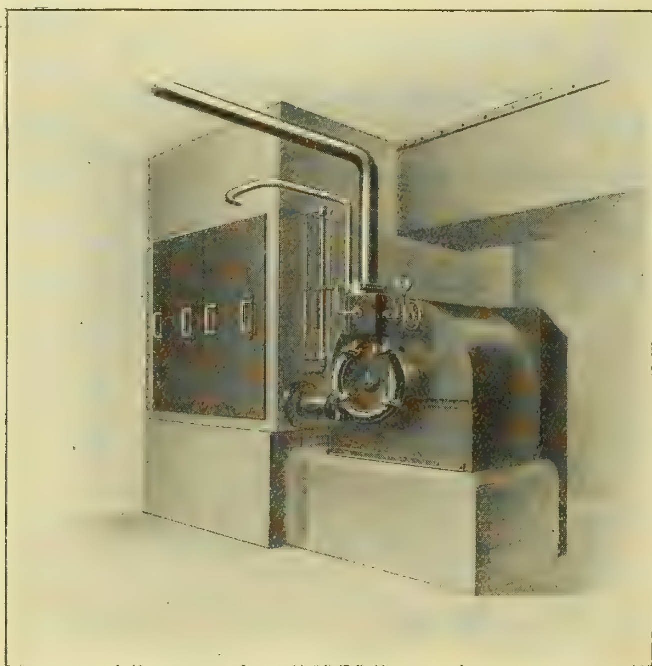


Fig. 21. — Batterie centrale de chauffe avec réglage automatique de la température.

Applications. — Un certain nombre d'*hôtels particuliers* ont été chauffés par ce système qui convient particulièrement aux habitations luxueuses. Pour quelques-uns d'entre eux qui possédaient des calorifères à air chaud, les conduits de chaleur existants ont pu être entièrement utilisés, ce qui a permis de supprimer les dépenses accessoires importantes nécessitées habituellement par le passage des tuyauteries dans les locaux richement décorés.

Pour un *important immeuble à loyers*, les pièces de réception ont pu être chauffées par dynamo-circuit à air chaud, et les pièces secondaires par dynamo-circuit à eau chaude. Une unique batterie de chaudières à vapeur alimentait à la fois les différents groupes de circulation ainsi que le service de distribution d'eau chaude.

Le groupe turbo-ventilateur, a reçu en outre des applications industrielles parmi lesquelles il y a lieu de citer un certain nombre de *chauffages d'ateliers*.

Le type d'aéro-calorifère automoteur représenté sur la figure 22 permet d'insuffler l'air chaud, en employant une force motrice pratiquement gratuite.

G. — Retour automatique des eaux de condensation aux chaudières à vapeur à basse pression.

L'utilisation mécanique de l'énergie contenue dans la vapeur à basse pres-

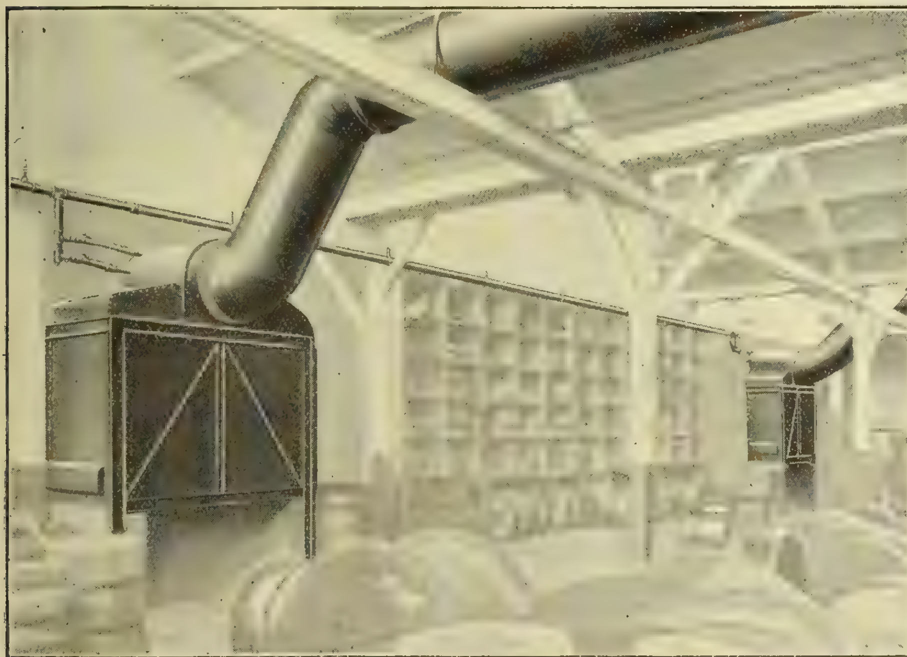


Fig. 22. — Aéro-calorifère automoteur pour chauffage d'ateliers.

sion, produite par des chaudières de chauffage central, peut donner lieu à d'autres applications.

Parmi celles-ci, il convient de signaler le retour automatique des eaux de condensation aux chaudières à vapeur à basse pression, lorsque celles-ci ne peuvent y être ramenées par simple gravité.

Deux cas sont à considérer :

1er *cas* (fig. 23) : Les surfaces de chauffe les plus basses sont situées au-dessus du niveau de la chaudière, mais à une hauteur *h* inférieure à la hauteur d'eau qui correspond à la pression maxima de marche. Il suffit d'interposer sur la conduite de retour une ou plusieurs bouteilles alimentaires dont le fonctionnement est

réglé automatiquement par un flotteur actionnant une soupape de vapeur à ouverture et fermeture instantanées. La figure 24 montre l'application de ces appareils dans une installation d'une puissance de 800.000 calories (25).

2e *cas* (fig. 25) : Les surfaces de chauffe les plus basses sont situées au niveau des chaudières. Ce cas s'est présenté récemment pour l'installation du chauffage par la vapeur de vastes ateliers de peinture de wagons d'une de nos grandes compagnies de chemin de fer (fig. 26). Le terrain sur lequel s'élève la construction est perméable à l'eau, et la construction d'une chaufferie étanche pour abriter contre les inondations, la batterie de chaudières d'une puissance horaire de 1.150.000 calo-

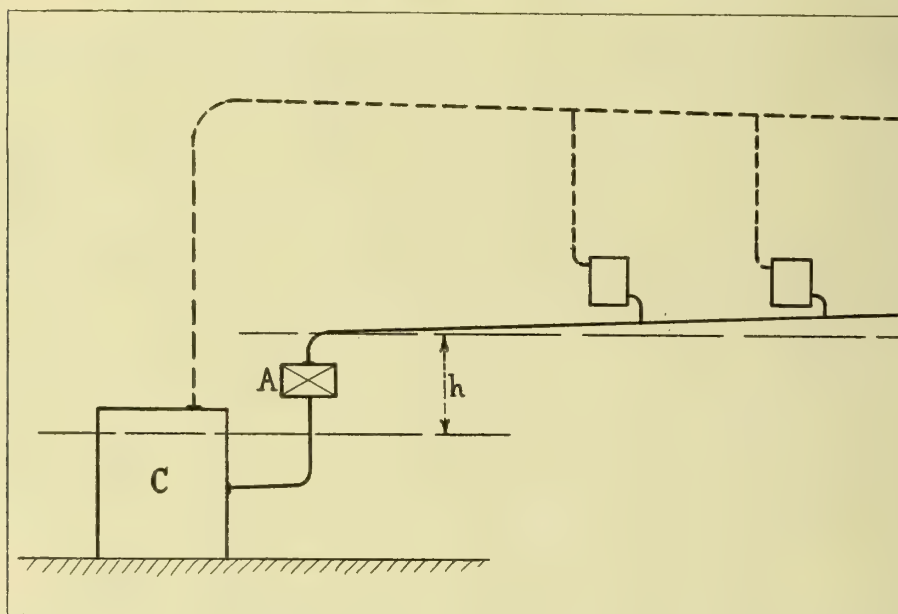


Fig. 23.

ries aurait entraîné une dépense considérable. En raison de la hauteur des bâtiments, il n'y avait pas lieu de songer à placer les surfaces de chauffe en élévation à 3 m du sol. D'autre part, l'emploi d'aéro-calorifères n'était pas indiqué car il faut dans les ateliers de peinture éviter les mouvements d'air qui favorisent le transport des poussières.

Le problème a pu être résolu de la manière suivante. Les radiateurs sont placés sur le sol des ateliers. Les eaux de condensation sont ramenées à l'air libre dans un réservoir B placé en contre-bas et dans le voisinage des chaudières, ces dernières étant au niveau des radiateurs.

(25) Ces appareils, installés en 1912, ont fonctionné normalement jusqu'à ce jour, sans qu'il ait été nécessaire d'en opérer le démontage.

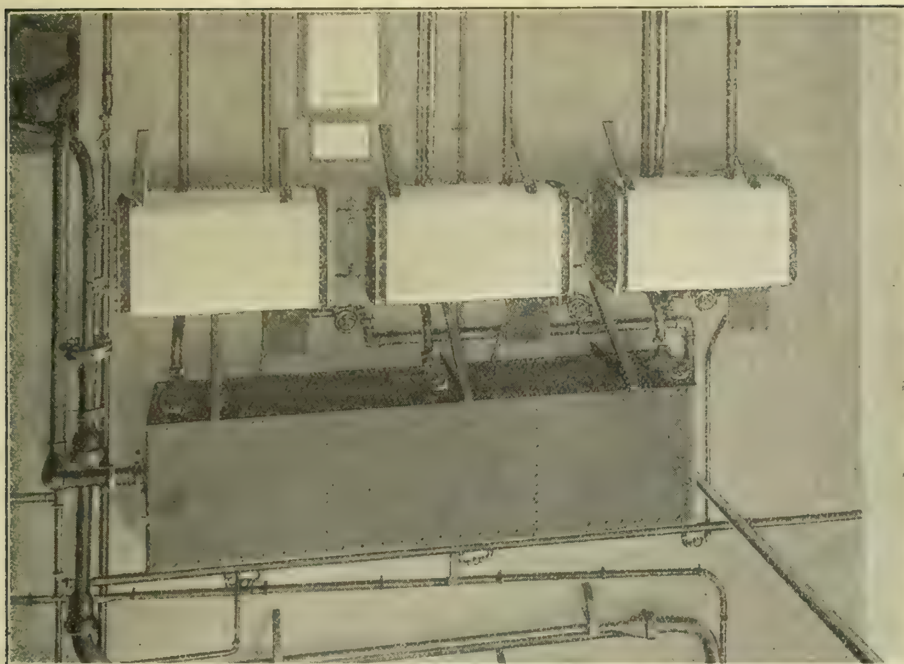


Fig. 24. — Batterie de réservoirs d'alimentation automatique.

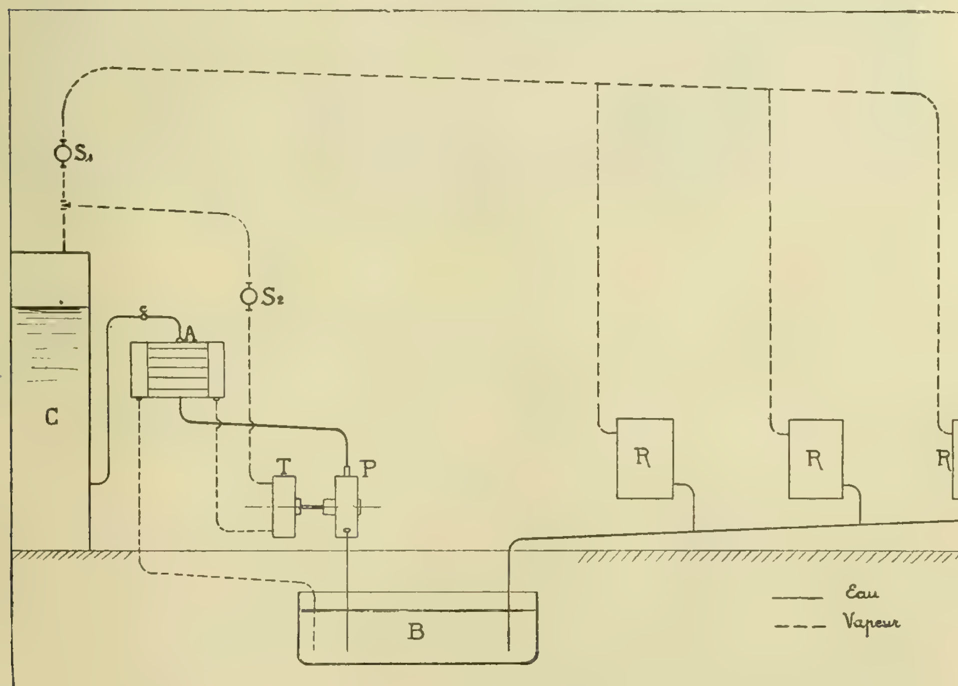


Fig. 25.

La pression nécessaire pour la rentrée de l'eau dans les chaudières devant être supérieure à la pression maxima de la vapeur, on s'est servi d'une pompe centrifuge d'alimentation P accouplée directement sur une turbine à vapeur à basse pression T dont la description a été donnée précédemment et dont l'échappement a été utilisé pour le r chauffage de l'eau de retour (Réchauffeur A). Il a été alors possible d'obtenir, pour l'eau d'alimentation, une pression dynamique supérieure à la pression statique de la vapeur aux chaudières.

Il fallait toutefois tenir compte de la période de mise en pression de l'installation, et de celle de décroissance de cette même pression pendant laquelle celle-ci peut être insuffisante pour obtenir avec la pompe d'alimentation la charge d'eau nécessaire.

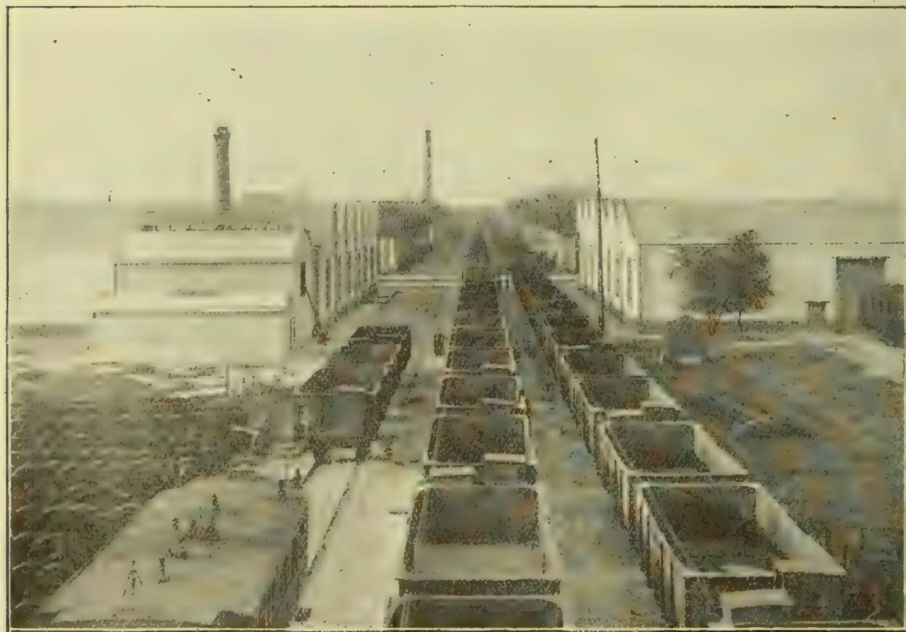


Fig. 26.

Le dispositif suivant a été réalisé pour assurer l'alimentation dans toutes les circonstances de marche de l'installation.

Le régulateur hydraulique de pression de vapeur, commun à toutes les chaudières, met en mouvement, par l'intermédiaire d'un câble d'acier, un chariot qui se meut dans un plan vertical sur un chemin de roulement dont la forme est étudiée pour obtenir simultanément les déplacements horizontaux transmis par des câbles qui y sont fixés dans deux sens différents.

A ces câbles, sont reliés :

1° Les soupapes de départ de vapeur S_1 de l'installation;

2° Celles de commande du moteur de la pompe d'alimentation S_2;

3° Les registres de tirage des six chaudières.

Tous ces systèmes de transmissions, ainsi que les soupapes, sont équilibrés et il suffit de la rupture de l'équilibre du système, pour obtenir l'ouverture ou la fermeture des organes de distribution.

Il est facile de concevoir qu'en échelonnant convenablement les pressions d'ouverture et de fermeture des différentes vannes et registres, toute la quantité de vapeur disponible aux chaudières à un moment donné, peut être réservée pour les appareils d'alimentation.

La figure 27 montre l'ensemble de l'installation des chaudières. Les figures 28 et 29 représentent les appareils d'alimentation qui sont en double, afin de ne pas arrêter la marche en cas de réparation. La figure 30 représente les vannes de distribution. La figure 31 représente le dispositif de commande des vannes et registres.

Un appareil de sûreté, un indicateur de manque d'eau et un alimentateur automatique d'eau de ville complètent l'installation et parent à tout danger de vidange, même partielle, des générateurs.

H. — Conclusions.

L'expérience que nous avons acquise depuis 1912, par l'emploi des appareils que nous venons de décrire, nous permet de déduire qu'*il n'y a pas à hésiter pour l'emploi des appareils mécaniques dans les importantes installations de chauffage et de ventilation, dont le fonctionnement doit être continu et automatique, s'il s'agit d'en améliorer le fonctionnement, de réaliser d'importantes économies de combustible et de réduire les frais d'exploitation.*

Nous venons de voir en outre que l'introduction de ces appareils mécaniques ne complique en rien le service. Comme dans toute installation ordinaire de chauffage central, le chauffeur n'a à s'occuper que de l'entretien du foyer et de la manœuvre des appareils de réglage. *Dès que la pression de marche est atteinte, le moteur se met en route de lui-même.* La grande simplicité de sa construction en assure la marche régulière.

***

Revenons en terminant sur l'application du dynamo-circuit à eau chaude, au chauffage d'un groupe de 17 immeubles parisiens, et montrons comment l'emploi de ce système peut constituer un pas important vers la solution rationnelle du problème de distribution générale de la chaleur dans nos grandes villes.

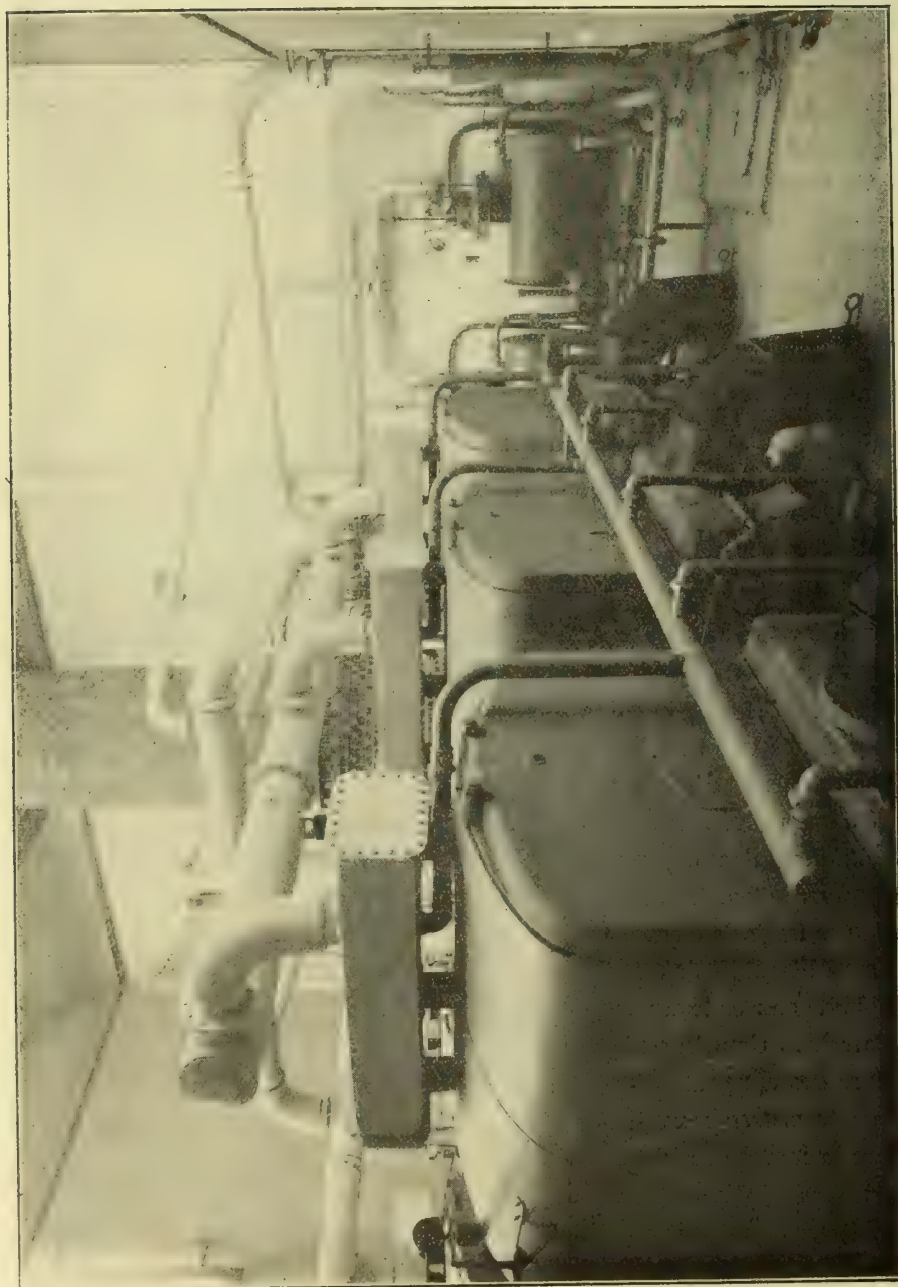


Fig. 27. — Batterie de six chaudières à vapeur à basse pression avec retour automatique des eaux de condensation.

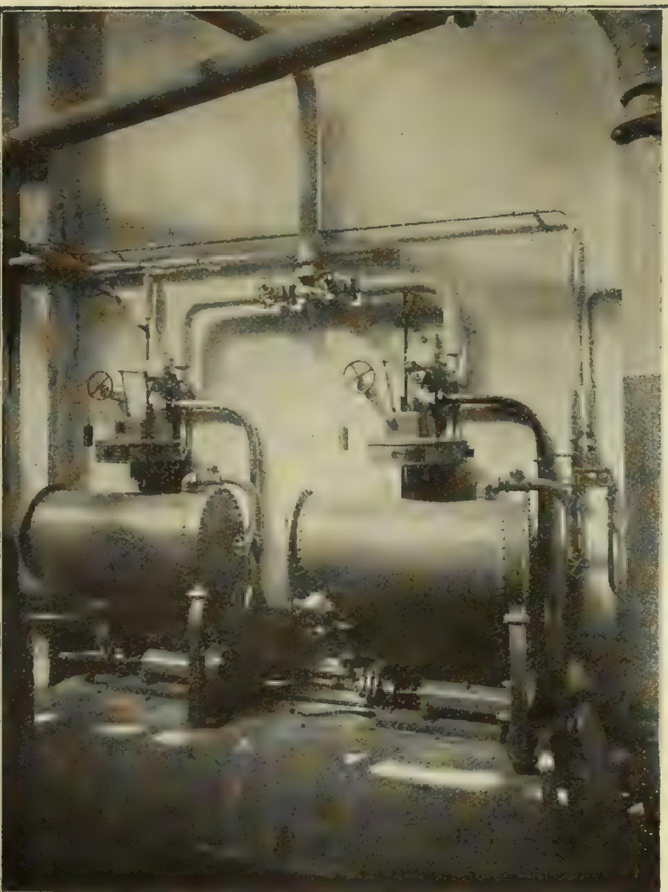


Fig. 28. — Alimentateurs automatiques.

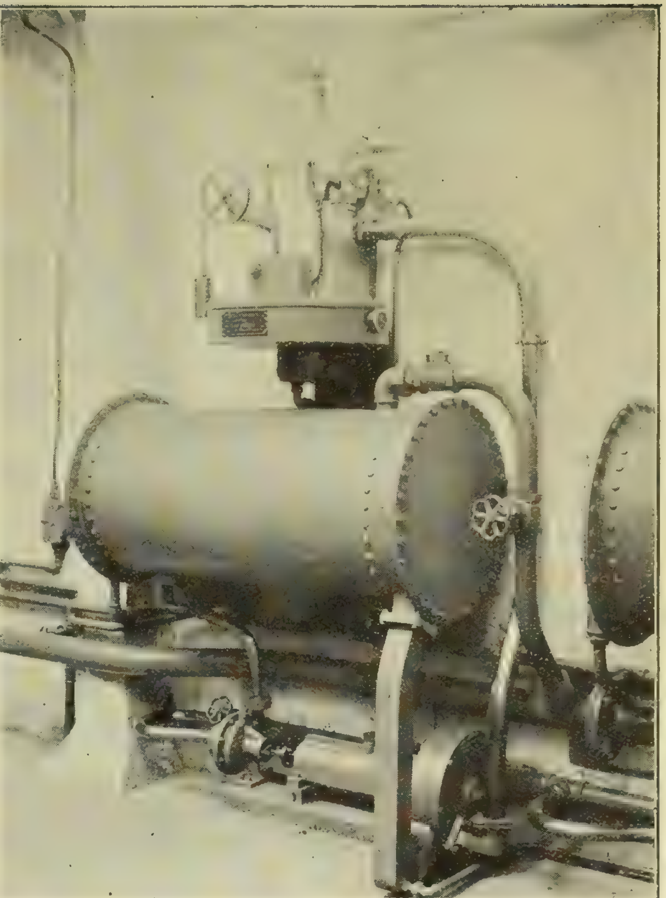


Fig. 29. — Détail d'un alimentateur.

L'on sait quel intérêt présente cette question en présence du coût actuel du combustible, de la diminution de main-d'œuvre, et des exigences des domestiques, et en raison des avantages hygiéniques résultant de la suppression dans les villes des fumées, des mâchefers et des cendres, de la suppression de la manutention du combustible.

Je ne suis pas de ceux qui croient possible d'appliquer pour nos grands centres urbains, les systèmes de distribution de chaleur, tels qu'ils sont réalisés en Amérique, systèmes que l'on nous a exposés comme modèles dans de nombreuses revues et conférences.

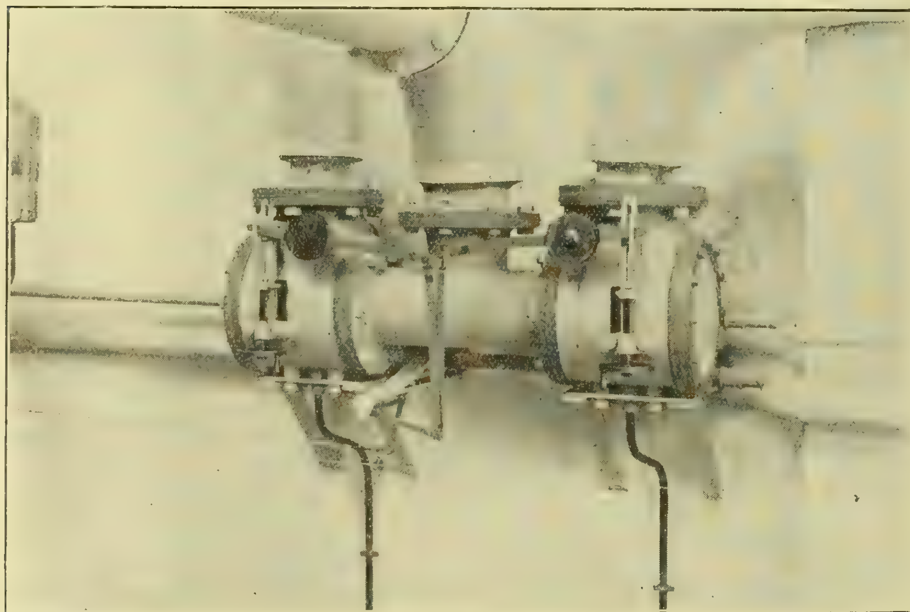


Fig. 30. — Soupapes de distribution de vapeur.

Les usines centrales de production de chaleur, qu'elles soient ou non combinées avec la force motrice, doivent être placées en dehors des villes. Il n'y a donc pas lieu de songer à transporter la chaleur à grande distance, au moyen de la vapeur ou de l'eau chaude. Les pertes de chaleur par les conduites atteignent par les temps doux un pourcentage considérable. Nous ne pouvons gaspiller le combustible comme le faisaient les Américains avant 1914.

On parle beaucoup en ce moment de l'utilisation pour le chauffage central de l'énergie électrique des secteurs, énergie disponible à certaines heures de la journée. Mais la nécessité d'accumuler cette énergie pour ne la distribuer sous forme de chaleur, dans une juste mesure, qu'à certaines heures et suivant les variations de la température extérieure, rend l'exécution de ce genre d'installa-

tion très difficile. Elle reste toutefois possible et nous voyons très bien, à côté de notre batterie de générateurs chauffés au charbon dans notre groupe d'immeubles, une seconde batterie chauffée électriquement munie des appareils de réglage et de distribution, et mise en service d'une manière intermittente.

Mais, il nous faut supposer naturellement un courant fourni à un prix accep-

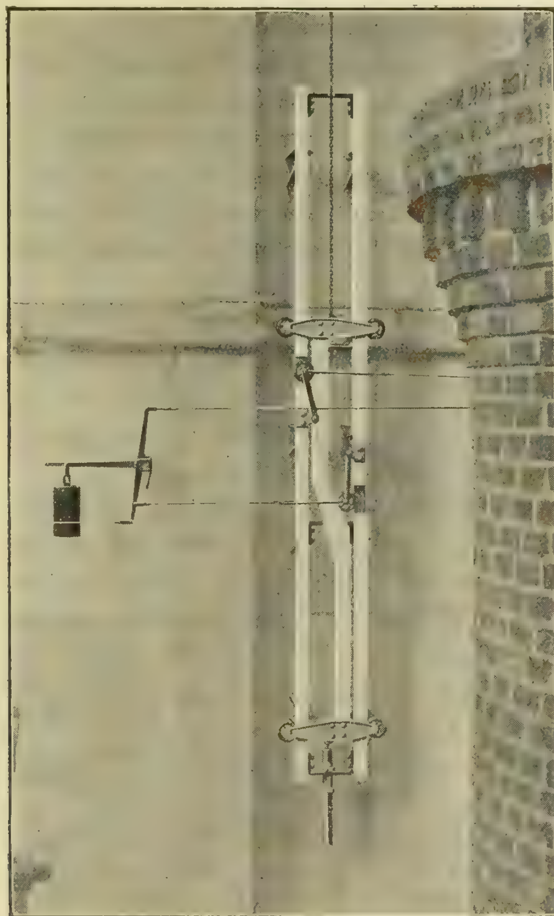


Fig. 31. — Chariot de commande.

table. Or, nous nous demandons si cette question est d'un intérêt immédiat, lorsque nous calculons pour Paris le prix de revient du courant électrique, produit par le charbon avec la vapeur comme intermédiaire. Les secteurs parisiens arriveront-ils jamais, avec leur meilleure volonté, à faire réaliser par ce procédé, des économies sur l'emploi direct du charbon? Nous ne le pensons pas. Peut-être pouvons-nous espérer dans quelques années, disposer de courant provenant de nouvelles usines hydro-électriques. Mais les immenses capitaux mobilisés per-

mettront-ils de réduire suffisamment le prix du courant et ne devons-nous pas rester sceptiques sur l'utilisation pour le chauffage central de cette énergie transformée en chaleur?

A notre avis, la distribution de la chaleur à grande distance sous forme de gaz combustible, reste seule à envisager pour le moment (26), et c'est sur ce point que je désire appeler l'attention à cause de sa relation possible avec le type de centrale thermique que nous avons réalisé.

C'est avec le gaz produit dans les usines situées en dehors des villes que nous voulons voir alimenter les sous-stations constituées par les batteries de générateurs à vapeur ou à eau chaude des groupes d'immeubles à chauffer.

Ce procédé permettrait d'abord d'utiliser le combustible d'une manière plus rationnelle avec un rendement supérieur à celui obtenu jusqu'ici dans les générateurs employant directement le charbon. Un personnel trés restreint suffirait pour assurer le service d'une sous-station.

Avec le gaz, la distribution peut se faire sous faible pression et à n'importe quelle distance sans perte de chaleur.

Ce gaz devrait être fourni dans de bonnes conditions, puisque la vente des sous-produits provenant de l'usine de transformation, permettrait de couvrir tout ou partie des frais d'installation et d'entretien.

Souhaitons donc voir nos grandes usines à gaz se transformer rapidement pour nous livrer à un prix très réduit, en partie par les conduites existantes, le combustible gazeux, et, en attendant, nous perfectionnerons les installations de chauffage de nos immeubles, et nous les grouperons pour réduire au minimum les frais d'exploitation (27).

Souhaitons enfin, que les constructeurs français, trouvent l'appui nécessaire

(26) Il y a intérêt à produire la combustion du gaz dans un groupe de générateurs dont on peut opérer la surveillance, plutôt que de la distribuer à des appareils de chauffage répartis dans les pièces et même aux petites chaudières de chauffage d'appartements.

L'emploi du gaz peut présenter de graves dangers et il faut réduire le nombre de personnes chargées de son emploi. — Des précautions spéciales doivent être prises pour l'évacuation des produits de la combustion. Des conduits spéciaux doivent être établis en dehors des murs des immeubles. — Il y a intérêt à ne pas les multiplier.

Les procédés perfectionnés de combustion, peuvent être facilement appliqués aux générateurs de grande puissance et difficilement aux foyers de peu d'importance (emploi par exemple d'un surpresseur, réchauffage du comburant, etc.).

Notons en passant que le groupe des générateurs chauffés au gaz, ne doit pas être établi dans une cave. On peut en prévoir l'établissement dans une construction spéciale établie dans la cour commune à deux ou plusieurs immeubles.

On peut même concevoir ce groupe à la partie supérieure des constructions, la source de chaleur et les appareils de circulation d'une distribution d'eau chaude par dynamo-circuit, pouvant être en effet établis à n'importe quelle hauteur, au-dessus des surfaces de chauffe. Cette disposition pourra paraître fantaisiste, nous croyons toutefois à sa réalisation.

(27) Si l'on se place uniquement au point de vue de l'économie du combustible, il est probable qu'un meilleur rendement sera obtenu en groupant simplement les chauffages d'un certain nombre d'immeubles (chauffages par îlots) et en établissant pour chacun de ces groupes, autant que possible vers leur centre, une chaufferie munie des derniers perfectionnements, utilisant un combustible industriel à bas prix. Mais il faut remarquer que l'on perdra les avantages de la distribution du gaz à grande distance, au point de vue de l'hygiène des villes et de la facilité du service.

pour mettre au point les perfectionnements qui s'imposent dans nos modernes cités, et surtout ne laissons pas l'étranger prendre l'initiative de l'œuvre à accomplir.

Permettez-moi d'adresser mes remerciements à la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale, qui a bien voulu me permettre d'exposer aujourd'hui quelques modestes travaux concernant l'industrie du chauffage central, industrie dans laquelle bien des progrès restent encore à réaliser.

André Nessi,
Ingénieur des Arts et Manufactures.

COMPTES RENDUS

DES SÉANCES DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT

CONSEIL D'ADMINISTRATION

SÉANCE PUBLIQUE

DU 12 NOVEMBRE 1291

Présidence de M. L. BACLÉ, *président*.

La séance est ouverte à 17 h.

Le procès-verbal de la séance du 29 octobre est adopté.

Sont présentés pour devenir membres de la Société et admis séance tenante :

M. DELAVAL (Henry), Ingénieur des Arts et Manufactures, 8, rue de l'Éperon, Paris (6e), présenté par M. de Fréminville et le Lieutenant-Colonel Renard;

M. GUILLAUME (Charles, Édouard), Directeur du Bureau international des Poids et Mesures, Pavillon de Breteuil, à Sèvres (Seine-et-Oise), présenté par le Général Sebert et le Lieutenant-Colonel Renard;

Le LABORATOIRE DE PHYSIQUE DE L'UNIVERSITÉ DE SMYRNE, passage Bakirgian, n° 77, Smyrne (Asie Mineure), présenté par M. Guillaume;

L'ÉCOLE NATIONALE D'ARTS ET MÉTIERS DE PARIS, 151, boulevard de l'Hôpital, Paris (13e), présentée par M. Toulon et M. Guillery.

Le 29 octobre 1921, M. QUINQUET (Alfred), constructeur, à Leforest (Pas-de-Calais), membre de la Société, a déposé à la Société d'Encouragement un pli cacheté relatif à un *montage mécanique de fortune pour le travail du bois.*

M. Quinquet a autorisé la Société d'Encouragement à ouvrir son pli cacheté et à en faire tel usage qu'il lui plaira, le 30 octobre 1926, si M. Quinquet n'en demande pas l'ouverture ou n'en effectue pas le retrait avant cette date.

M. BACLÉ, *président.* — Vous allez entendre M. Jean-Paul Belin qui veut bien nous entretenir ce soir de l'organisation de la librairie française (Maison du Livre français, Semaine et Congrès du Livre).

Je n'ai pas besoin de vous présenter notre conférencier, car vous n'avez sans doute pas perdu le souvenir de la communication qu'il nous a déjà faite il y a quatre ans, le 21 avril 1917, sur la situation de la librairie française à cette époque devant la concurrence étrangère, et vous savez en outre qu'il est rattaché à notre Société par de nombreux liens de famille, étant le fils de notre regretté collègue, M. Belin, l'éditeur de livres classiques, dont le nom nous rappelle nos souvenirs de collège et est connu dans le monde entier, partout où la culture française a pénétré; il est en même temps le neveu de notre cher ancien président, M. Léon Lindet.

Il va nous montrer comment la librairie française, obligée de lutter, elle aussi, contre les difficultés de la situation générale présente, réussit à maintenir à l'étranger son activité nécessaire, en y diffusant les travaux de nos écrivains, savants et littérateurs. Ce faisant, nos éditeurs deviennent les meilleurs apôtres de la culture et de la civilisation françaises dont ils sont les représentants obligés et, après avoir entendu la conférence de M. Belin, je ne doute pas que vous ne soyez d'accord pour reconnaître la haute valeur des services qu'ils rendent ainsi au pays tout entier en défendant une cause particulière qui, cependant, se confond vraiment avec l'intérêt national.

M. J.-P. BELIN, secrétaire général de la Maison du Livre français, fait une communication sur *L'organisation de la librairie française*.

Jusqu'en 1914, nos éditeurs vivaient encore isolés. A cette époque, cependant, ils ressentaient déjà les effets de la concurrence étrangère et quelques-uns émirent l'idée de se grouper pour lutter contre elle.

La guerre, en nous habituant à l'effort commun, eut pour effet, dès mars 1917 (1er Congrès du Livre), de provoquer les premiers essais de coopération mais sans grand succès. Depuis, les nouvelles difficultés qui ont surgi après la guerre ont forcé les éditeurs à se grouper et à collaborer d'une façon continue avec les libraires. Les premiers résultats de cette coopération commencent seulement à se faire sentir et ce sont eux surtout que M. J.-P. Belin expose dans sa conférence. L'organisation est presque complète en ce qui concerne la diffusion du livre français en France; mais presque tout reste encore à faire en ce qui concerne la vente du livre à l'étranger. La tâche est d'ailleurs plus difficile et plus longue.

Le 2e Congrès du Livre (juin 1921) a conservé la méthode de travail adoptée par la Semaine du Livre en novembre 1920 et les organismes qu'elle avait créés, mais en élargissant leurs attributions. Ce sont des conférences permanentes dont chacune doit résoudre un problème général mais bien défini et limité. C'est ainsi qu'il en existe pour étudier les questions relatives : aux matières premières, aux transports, à la fabrication, aux droits respectifs des auteurs et des éditeurs, à la vente, aux éditions musicales, à la diffusion du livre français à l'étranger. L'exé-

cution de quelques-unes des résolutions de ces conférences a été confiée à la « Maison du Livre français ».

Constituée dès mars 1920, en société anonyme, elle groupe presque tous les éditeurs et la quasi-totalité des meilleurs libraires de province. Son siège social et tous ses services, d'abord dispersés, sont réunis, depuis avril 1921, à Paris, 4, rue Félibien, sur l'emplacement d'une partie du Marché Saint-Germain, c'est-à-dire au centre du sixième arrondissement où habitent presque tous les éditeurs français.

Les services de la Maison du Livre, par ordre de mise en marche, sont les suivants :

Commandes. — Les libraires lui adressent leurs bulletins de commande (actuellement plus de 1.000 par jour) établis à raison d'un par éditeur. Tous les bulletins parvenus le même jour et adressés à un même éditeur lui sont portés le matin même (sur la rive gauche) ou dans l'après-midi.

Expéditions. — Les livres ou colis déposés par les éditeurs ou pris chez eux sont groupés en une seule expédition pour chaque libraire destinataire. Leur livraison est faite tous les jours : par automobiles dans Paris (16.000 colis en octobre 1921); par chemins de fer aux libraires de province et de l'étranger (un bureau d'expédition par chemins de fer est installé dans l'immeuble depuis septembre 1921).

Paiements. — Le fonctionnement est à peu près le même que pour les livres. Le libraire paye simultanément plusieurs éditeurs, soit par un chèque unique, soit par traites tirées sur chacun d'eux.

Renseignements bibliographiques. — Tout libraire affilié à la Maison du Livre dispose d'un panonceau qui signifie pour ses clients que toute demande d'ouvrage, même incomplète, fera l'objet d'une recherche en vue de lui donner rapidement satisfaction. Si le libraire ne sait pas comment se procurer l'ouvrage désiré, il le demande à la Maison du Livre qui, presque toujours, le lui indique. Pour faciliter ces recherches, on dispose d'un fichier à triple entrée dont l'établissement sera achevé prochainement.

Catalogue-répertoire commun. — Il est destiné aux libraires. Il réunira, classée méthodiquement, la matière de tous les catalogues des éditeurs. Le premier de ces catalogues, celui de la production littéraire française des XIXe et XXe siècles, paraîtra dans deux ou trois mois.

Bulletin d'informations. — Il paraît tous les mois. Destiné aux libraires, il leur donne des renseignements d'intérêt général : actualités, nouveautés, réimpressions, nouvelles de l'étranger, etc.

Annuaire de la Librairie. — Il paraîtra pour la première fois en 1922. Il donnera des renseignements détaillés sur tous les libraires, leurs spécialités, etc.

École de Librairie. — Elle est en cours d'organisation. Ce service est indispensable car ceux qui vendent des livres ne sont pas toujours exclusivement libraires et ignorent souvent l'essentiel de leur profession.

Musée des matières premières. — On y fera figurer des spécimens de tout ce dont un éditeur, un libraire doit s'approvisionner.

Salle de correspondance et Bibliothèque, pour les éditeurs, commissionnaires et libraires de passage.

Cette organisation tire parti de cette circonstance favorable que la quasi-totalité des éditeurs français habitent le sixième arrondissement de Paris. Les livres ne font qu'un très court séjour à la Maison du Livre, à l'inverse de ce qui se passe à Leipzig. En effet, les éditeurs allemands sont dispersés sur tout le territoire du Reich et Leipzig joue pour eux le rôle d'un commissionnaire commun avec un vaste entrepôt où sont stockés, souvent en très grand nombre et fort longtemps, tous les livres publiés en Allemagne. Les libraires hollandais sont eux aussi dispersés sur tout leur territoire, mais vu sa petite étendue, ils ont trouvé avantageux de créer à Amsterdam un organisme central analogue au nôtre. E. L.

M. Baclé, *président*, remercie M. Belin de son intéressante conférence et le félicite des résultats obtenus par la Maison du Livre. Ils sont en très grande partie son œuvre, bien que, par modestie, il ne nous l'ait pas dit. Si les éditeurs réussissent à vendre leurs livres en plus grand nombre et à réduire leurs frais généraux et ceux des libraires, grâce à l'excellente organisation que leur offre la Maison du Livre, on peut espérer voir diminuer bientôt le prix de vente des livres. Leur prix, bien qu'il n'ait pas triplé ou quadruplé comme celui des produits alimentaires, paraît encore excessif à tous ceux qui sont obligés de restreindre leur consommation c'est-à-dire, en fait, à la plupart de ceux qui achètent des livres. M. Baclé prie M. J.-P. Belin de remettre un manuscrit sur l'exposé qu'il vient de nous faire. Il sera présenté pour examen à un de nos comités en vue de son insertion dans notre *Bulletin*.

La séance est levée à 18 h. 35 m.

SÉANCE PUBLIQUE

DU 26 NOVEMBRE 1921.

Présidence de M. Baclé, *président*.

La séance est ouverte à 17 h.

Le procès-verbal de la séance du 12 novembre est adopté.

Sont présentés pour devenir membres de la Société et admis séance tenante :

M. Ghosh (P. N.), Master of Arts, docteur en philosophie, professeur de physique appliquée à l'Université de Calcutta (Inde britannique), 17, rue du Sommerard, Paris (5e), présenté par M. Guillaume et M. Lemaire;

M. Issakof (Léonide), secrétaire scientifique, et métrologiste de la Chambre centrale des Poids et Mesures de Russie, perspective Zabalkansky, n° 19, Pétrograd (Russie), présenté par M. Guillaume;

M. Blumbach (Féodor, Ivanovitch), professeur de physique, chef de la Section métrologique de la Chambre centrale des Poids et Mesures de Russie, Perspective Zabalkansky, n° 19, Pétrograd (Russie), présenté par M. Guillaume;

La Chambre de Commerce d'Annonay, à Annonay (Ardèche), présentée par M. Baclé et M. Lemaire (1922);

M. Breton (Jules, Louis), sénateur, membre de l'Institut, directeur des Recherches scientifiques et des Inventions, 8 *bis*, boulevard Soult, Paris (12e), présenté par le Général Sebert et M. Paul Toulon.

M. Baclé, *président*, dit qu'il a représenté la Société d'Encouragement à la manifestation organisée, sous la direction de M. Daniel Berthelot, membre de notre Conseil, en l'honneur du centenaire des découvertes d'Ampère. Ampère, en 1820, établissait la théorie électrodynamique, qui est à la base de toute l'industrie électrique, et dès 1821, il démontrait la justesse de ses conceptions par une retentissante vérification expérimentale. Cent années ont prouvé la fécondité prodigieuse des vues d'Ampère. Notre Société ne pouvait manquer d'accorder son patronage à la commémoration d'une découverte aussi importante. La manifestation comprenait : 1° une séance solennelle qui s'est tenue le 24 novembre à la Sorbonne, sous la présidence d'honneur de M. Millerand et au cours de laquelle des discours ont été prononcés par MM. Daniel Berthelot, Appell, Paul Janet, Legouëz, Boucherot, le Dr Mailloux et Léon Bérard; 2° une réception au Conservatoire national des Arts et Métiers, le 25 novembre, à l'occasion de l'inauguration, dans le musée, de la nouvelle galerie des modèles d'appareils télégraphiques et téléphonique construits jusqu'à ce jour.

M. Baclé, *président*. — Vous allez entendre M. Lahy, chef de travaux au Laboratoire de Psychologie expérimentale de l'École pratique des Hautes Études, qui veut bien nous donner une conférence sur un sujet nouveau assez différent de ceux que nous traitons habituellement, et qui en est d'autant plus intéressant, car il présente pour le travail industriel une importance de premier ordre.

Il s'agit en effet de la sélection psycho-physiologique des travailleurs qui fait maintenant, comme vous allez le voir, l'objet d'observations et de mesures précises effectuées suivant des méthodes et des règles bien déterminées résultant d'études et d'expériences entreprises déjà dans de nom-

breux pays industriels, spécialement en Amérique, et qui sont poursuivies dans le Laboratoire de Psychologie expérimentale.

M. Lahy est le collaborateur du docteur Toulouse, qui s'est acquis dans ces matières une autorité universellement reconnue; à ce titre, il est particulièrement qualifié pour nous entretenir de ces travaux, nous décrire les procédés et les appareils employés, les résultats obtenus, et, en l'écoutant, vous vous étonnerez certainement de la précision qu'il est possible d'atteindre en ces matières.

Le sujet que M. Lahy va traiter devant vous ce soir se rattache étroitement à celui de l'organisation méthodique du travail dans les usines, sujet dont notre Société se préoccupe depuis fort longtemps et qui a fait, ici même, l'objet de deux conférences en 1914 et de cinq autres en 1919. On nous y a montré surtout par quels moyens on peut réussir à ne faire faire, à un ouvrier qui exécute un travail donné, que juste les mouvements indispensables pour bien exécuter ce travail. Ainsi on gagne du temps, on accroît la production et on économise les forces musculaires du travailleur. M. Lahy va nous indiquer surtout comment on peut réduire au minimum la fatigue nerveuse qui accompagne nécessairement toute dépense d'énergie physique, et comment aussi, par conséquent, on peut accroître le rendement intellectuel sans toucher à ce capital précieux, mais si instable et si fragile, qu'est notre système nerveux et, en tout premier lieu, le cerveau.

La question est d'importance. Le surmenage, comme nous le dira M. Lahy, est la cause principale des troubles nerveux et mentaux; la plupart sont d'ailleurs parfaitement évitables et curables quand ils sont soignés à temps. Or, nos nerfs ont été mis à une dure épreuve pendant cinq années de guerre; ils le sont encore maintenant car tout Français, conscient de ses devoirs, sait que, pour réparer les ruines de la guerre, pour compenser les pertes de vies humaines, pour produire autant qu'avant la guerre, il faut travailler, travailler de toutes ses forces, jusqu'à la limite de ses forces, mais pas au delà, sinon le surmenage survient, affaiblit notre capacité de travail, et peut même tarir complètement la source de cette activité si nécessaire.

La limite de nos forces, la mesure de la capacité de travail du système nerveux, le point où commence le surmenage, sont essentiellement variables avec les individus et aussi avec la nature du travail exécuté. Pour obtenir le rendement maximum en dépensant le minimum d'énergie musculaire et nerveuse, il convient donc que chacun exécute le seul travail auquel il est apte, et, s'il est apte à plusieurs travaux, à celui pour lequel il a le plus d'aptitude. La détermination préalable de ces aptitudes par des moyens précis doit permettre de fixer là ou les professions dans lesquelles le travailleur a le plus de chances de rendre les meilleurs services et c'est là le sujet

dont M. Lahy va nous entretenir. Il fait partie du brillant état-major de chercheurs, de médecins et de savants qui travaillent en collaboration avec le Dr Toulouse et qu'on retrouve, avec lui, à la tête d'une ligue nouvelle, la Ligue d'Hygiène mentale, qui est leur œuvre et dont M. Lahy va aussi nous dire quelques mots.

M. J. Lahy, chef des travaux au Laboratoire de Psychologie expérimentale de l'École pratique des Hautes Études, fait une communication sur la *sélection psycho-physiologique des travailleurs.*

Le problème de la sélection des travailleurs n'est qu'une petite partie d'un problème plus général, l'organisation rationnelle du travail humain. Le Laboratoire de Psychologie expérimentale de l'École des Hautes Études a commencé à chercher sa solution il y a plus de quinze ans. Ces recherches sont longues et assez difficiles, mais la guerre a fourni l'occasion de les multiplier et d'en éprouver la valeur : les résultats trouvés sont loin d'être indiscutables, mais tels qu'ils sont, ils peuvent, dès maintenant, fournir des renseignements utiles dont beaucoup d'industriels pourraient faire leur profit ; les méthodes employées sont encore embryonnaires, mais elles reposent sur des bases solides et il ne reste plus qu'à les perfectionner, à les développer et à les appliquer.

L'organisation rationnelle du travail humain suppose :

1° La connaissance des gestes utiles et les plus efficaces exécutés par l'ouvrier dans l'exercice de sa profession;

2° Le choix judicieux des travailleurs;

3° La possibilité de déceler les signes de la fatigue si on veut éviter de détériorer « l'outillage humain », c'est-à-dire l'ensemble des organes de l'ouvrier. C'est un capital qui, en France, a été diminué d'un quart par la guerre car, sur huit millions de travailleurs, notre pays en a perdu au moins deux millions si on tient compte de la moindre capacité de travail des mutilés.

Le choix judicieux des travailleurs n'est possible que si on a résolu deux problèmes distincts :

1° La sélection des ouvriers faits, avant leur entrée dans une usine, pour y exécuter une tâche déterminée, et cela, quels que soient les antécédents de l'ouvrier, son âge, ses professions antérieures ;

2° L'orientation professionnelle des enfants, c'est-à-dire avant tout apprentissage. Ce problème n'est pas aussi avancé que la sélection des ouvriers. M. Lahy ne traite que celle-ci dans sa conférence.

Avant de rechercher les aptitudes caractéristiques d'une profession et de les classer par ordre d'importance pour savoir celles qui y donnent la supériorité, il faut connaître toutes les aptitudes requises pour l'accomplissement de la plupart des travaux exécutés par l'homme; et, si on ne peut exactement les mesurer — ce n'est pas encore toujours possible — il faut pouvoir déterminer, pour chaque aptitude, son ordre de grandeur chez différents individus. Chez les tourneurs, c'est l'association des mouvements discordants des deux mains qui importe; chez l'aiguilleur, c'est l'attention qui doit être très grande; dans un grand nombre de

professions, c'est la mémoire qui joue le rôle principal; dans d'autres, c'est le temps de réaction, c'est-à-dire le temps qui s'écoule entre l'instant où un fait extérieur se produit et celui où doivent s'exécuter des gestes répondant à cette excitation.

Les enquêtes entreprises auprès des travailleurs et des employeurs fournissent des renseignements qui ne sont pas négligeables, mais les jugements personnels sont sujets à erreurs et manquent toujours de précision. Ainsi, on a cru longtemps qu'un court temps de réaction est la caractéristique principale de la supériorité professionnelle; or, chez les dactylographes, la constance de ce temps importe beaucoup plus que sa brièveté.

Les signes de la supériorité professionnelle se trouvent bien plus exactement si on recourt à une méthode purement objective, scientifique, qui analyse et enregistre les gestes de l'ouvrier, mesure les variations du fonctionnement de ses organes, etc., d'où l'importance de la méthode graphique, dont la précision peut être poussée aussi loin qu'on le désire. Cette méthode n'est pas nouvelle : elle a été créée par Marey et on en connaît des applications qui sont classiques : travail au cabrouet, ou diable, et au sécateur, étudié par M. Humbert; travail à la lime, étudié par M. Humbert et par M. Ch. Fremont; etc.

Dans ces méthodes, on mesure et on enregistre la durée des mouvements utiles ou inutiles, leur amplitude, l'effort dynamométrique exercé, l'énergie musculaire dépensée, les effets de ces mouvements sur le pouls, la respiration, etc. En analysant les résultats trouvés, on peut constater immédiatement des faits intéressants. Par exemple, dans le cas du maniement du sécateur, on a constaté que celui qui s'en sert bien dépense beaucoup moins d'énergie musculaire et exerce souvent un effort dynamométrique moindre que celui qui s'en sert mal. On a observé ensuite que, si on essaye d'enseigner le bon maniement du sécateur à ces derniers, la plupart n'y réussissent jamais malgré la meilleure volonté. Il y a donc des limites individuelles à la possibilité musculaire tant au point de vue de la force qu'au point de vue de l'habileté. Cette limite est atteinte d'ailleurs, même chez les ouvriers habiles, quand la fatigue commence, et elle commence plus ou moins tard suivant les individus.

Pour les professions dites de sécurité (wattmen, conducteurs d'autos, mécaniciens de chemins de fer, pilotes d'aéronefs) on constate en outre que l'élite, pour obtenir un même résultat, dépense moins d'énergie électrique ou de combustible que les mauvais ouvriers. Dans ce cas, l'exactitude des gestes est un facteur important de la supériorité professionnelle et elle ne dépend pas seulement de l'outillage musculaire de l'ouvrier mais aussi de son activité cérébrale, de son « outillage mental ». Le psycho-physiologiste dispose aujourd'hui des moyens, souvent de mesurer cet outillage mental, presque toujours de l'apprécier. Cet outillage comprend notamment : l'attention; le rapport entre le temps de réaction et l'attention; la présence d'esprit; le sang-froid; la mémoire; la « fatigabilité »; la « plasticité fonctionnelle ». La recherche des hommes aptes au métier de mitrailleur, entreprise par M. Lahy pendant la guerre, est tout à fait typique à cet égard.

Les chemins de fer saxons ont si bien compris l'intérêt de cette méthode, qui avait été appliquée en Allemagne par nécessité pendant la guerre, qu'ils s'en sont servis pour satisfaire aux besoins de la paix : ils ont créé à Dresde un laboratoire chargé de la sélection de tout le personnel des chemins de fer. Un laboratoire sem-

blable a été créé à Berlin pour le choix du personnel des tramways; son installation a coûté 90.000 marks; l'économie qu'il a fait réaliser pendant la première année de fonctionnement est évaluée à 410.000 marks! La sélection professionnelle se traduit aussi par des avantages sociaux : elle diminuera le nombre des mécontents, des déclassés, groupe turbulent qui compte presque exclusivement des inaptes à la profession exercée; elle diminuera aussi l'aliénation mentale. qui reconnaît presque toujours maintenant comme cause principale, en dehors de l'alcoolisme et de la syphilis, le surmenage surtout cérébral; le seul département de la Seine dépense 50 millions par an pour ses aliénés internés!

Or, le surmenage survient plus ou moins vite selon les prédispositions; il est la conséquence de la fatigue nerveuse qui est plus grande lorsqu'on exerce un travail auquel on n'est pas apte; et si les aptitudes individuelles varient comme 1 à 5 ou 6 dans le domaine de l'activité musculaire, elles varient comme 1 à plusieurs millions dans le domaine de l'activité cérébrale. On a tort de croire que l'ouvrier ne se fatigue pas en exécutant un petit mouvement facile, toujours le même; le cas n'est jamais aussi simple car ce petit mouvement, dans l'état actuel de la technique, est toujours imposé : il doit s'exécuter dans un temps donné; sa trajectoire, son rythme et son amplitude sont déterminés. Presque tous les mouvements professionnels sont soumis à cette « contrainte sociale », exigent de l'attention et provoquent la fatigue cérébrale.

Cependant, le travail ne conduit pas nécessairement au surmenage; c'est ainsi que beaucoup d'ouvriers sont beaucoup plus fatigués le lundi matin que le samedi soir. Voici d'ailleurs quelques résultats curieux qui ont été reconnus et vérifiés.

L'exercice rationnel d'un travail est quelquefois bienfaisant, hygiénique.

Il y a des fatigues qui sont réparables par le simple repos ou par l'exercice d'un autre travail, d'un genre différent (distraction), et des fatigues irréparables. Ainsi les pilotes d'aéronefs, bien que volant pendant une fraction très courte de leur existence, se fatiguent et « s'usent » extrêmement vite.

La fatigue se porte de préférence sur les organes malsains, et, quand ils sont tous sains sur les plus délicats, les organes « nobles », ceux des sens, le système nerveux, le cerveau. Il est donc rationnel d'instituer un examen psycho-physiologique à l'entrée de quelques professions comme il est rationnel de recourir à l'examen médical à l'entrée dans une usine : l'examen médical écartera bien par exemple, du métier de forgeron et de la pratique des sports violents, quelle que soit sa force musculaire, celui dont le cœur est en mauvais état, mais, seul, l'examen psychophysiologique écartera du métier d'aiguilleur celui qui manque d'attention; s'il est consciencieux, ce qui est le cas général, il se fatiguera beaucoup trop vite et pourra devenir la cause d'un danger pour ses semblables.

Si les uns font avec plaisir, et presque sans fatigue cérébrale aucune, un travail monotone, pour d'autres, même très facile, ce travail sera un véritable supplice et son exécution se traduira par une fatigue cérébrale excessive; d'ailleurs, ce ne sont pas nécessairement les individus les moins intelligents qui aiment les travaux monotones.

Or, la contrainte sociale fait que les travaux les plus demandés actuellement sont précisément ceux pour lesquels le système nerveux et le cerveau se fatiguent le plus vite; c'est une conséquence du progrès industriel, qui a pour effet de sub-

stituer la machine à l'homme toutes les fois qu'on peut éviter l'intervention de son intelligence. S'il y a morbidité, les intoxications, qu'elles soient d'origine interne (par simple fatigue) ou externe (intoxications ordinaires, comme par le plomb), ont beaucoup plus de prise sur l'organisme. C'est ainsi que les syphilitiques et les alcooliques se surmènent et contractent les maladies contagieuses plus vite que les autres.

Une des préoccupations de la Ligue d'Hygiène mentale, récemment créée par le docteur Toulouse, est de rechercher la nature et l'étendue de la nocivité des divers travaux industriels. C'est aux techniciens que revient ensuite la tâche de trouver l'organisation du travail dans les usines qui rendra cette nocivité nulle, ou minima, si elle est inévitable.

A ce point de vue, l'organisation créée par M. Charpy dans une usine métallurgique de Montluçon, est tout à fait remarquable (1). M. Charpy paraît être le seul « organisateur » français qui se soit préoccupé, parmi tant d'autres choses non moins remarquables de son organisation, des repos intercalaires. Ces repos sont une nécessité absolue quand les ouvriers d'une même équipe travaillent en liaison et dépensent, en un temps très court, une grande énergie musculaire et nerveuse pour exécuter ensemble une opération nécessairement pénible, délicate et dangereuse. C'est le cas du travail d'une grosse pièce de forge. L'opération peut ne durer que 3 à 4 minutes; il est judicieux cependant de ne la faire exécuter que tous les quarts d'heure et de laisser l'équipe au repos complet et en liberté absolue pendant 11 à 12 minutes avant de lui faire recommencer l'opération : le patron y trouve d'ailleurs avantage car, dans ces cas, il importe bien plus de réussir une opération difficile qui, manquée, lui coûte extrêmement cher, que de produire beaucoup et de payer plus ou moins trois ou quatre ouvriers. Il y gagne encore d'une autre manière puisque ses ouvriers deviennent de plus en plus habiles et puisque, les usant moins, il les garde plus longtemps.

Cette organisation de M. Charpy est infiniment plus fine et plus habile, tant au point de vue économique qu'au point de vue social et moral, que celle qui, d'origine américaine, a été introduite dans certaines usines françaises sous le nom de système Taylor, quelquefois assez brutalement d'ailleurs et souvent sans bien connaître ce système.

Mais il faut produire, il faut travailler, surtout en ce moment, pour effacer les ruines de la guerre, de même que, pendant la guerre, il fallait les mitrailleurs coûte que coûte; il faut donc des travailleurs quand même et il en faut beaucoup. L'application des nouvelles méthodes ne va-t-elle pas tarir le marché du travail? M. Lahy ne le croit pas et, pour répondre à cette objection, il cite deux exemples.

Supposons qu'il faille 25 wattmen et que 25 candidats se présentent : on les prendra tous; mais s'il s'en présente 30, puisqu'il faut en éliminer 5, on n'embauchera pas les 5 plus mauvais.

Un ouvrier cherche une place; jusqu'à présent, il a exercé une profession à laquelle il n'est pas apte; une place est vacante dans une profession qu'il n'a pas exercée mais à laquelle il est apte : il ira l'occuper et changera de profession.

Ceci suppose une connaissance et une compréhension parfaites des avantages de la méthode, tant par le patron que par l'ouvrier — c'est une question d'éducation — et aussi une organisation rationnelle des offices de placement, qui devront

(1) Voir le *Bulletin* de la Société d'Encouragement de mai-juin 1919.

utiliser les données des laboratoires de psycho-physiologie. Ils disposeront, par exemple, de fiches, les unes relatives à la profession, les autres aux individus.

C'est là une tâche de longue haleine et, comme beaucoup d'autres dans ce cas, elle fait appel, une fois de plus, à la collaboration de l'industriel et du savant, de l'usine et du laboratoire. E. L.

M. Baclé, *président*. — Je tiens surtout à dire à M. Lahy tout le plaisir que nous avons éprouvé en l'entendant rappeler la conférence dans laquelle notre éminent collègue, M. G. Charpy, exposait dans cette salle, la méthode d'organisation du travail adoptée par lui dans l'usine de Montluçon Saint-Jacques, dont il était alors directeur, et combien nous avons été heureux d'applaudir à l'éloge mérité qu'il en a fait. Ainsi que M. Lahy le remarque très justement, son organisation se recommande en effet par des qualités de méthode et de mesure qu'apprécient particulièrement les ouvriers, surtout en France; elle s'attache en effet à ménager leurs forces en leur réservant, au cours du travail, les instants de répit dont ils ont besoin, en évitant de les astreindre à la fatigante monotonie d'un geste continuellement répété; à cet égard, elle paraît certainement l'une des meilleurs qu'on puisse proposer, et nous ne saurions trop remercier M. Lahy d'avoir tenu à nous signaler l'intérêt particulier qu'elle présente.

Nous voyons d'autre part, d'après l'exposé de M. Lahy, que les procédés de sélection qu'il met en œuvre constituent certainement l'une des plus curieuses applications des méthodes d'observation scientifique dans ces questions de psychologie qui, jusqu'à présent, paraissaient relever seulement d'appréciations purement subjectives et nécessairement arbitraires, alors qu'il s'agit de déterminer la valeur de l'effort physique et même intellectuel que chacun de nous peut réellement fournir sans surmenage.

C'est en un mot la réponse à la recommandation du poète critique latin, prescrivant aux écrivains de n'entreprendre que les travaux dont ils sont capables, de s'attacher à reconnaître ce que peuvent supporter leurs épaules :

Quid valeant humeri, Quid ferre recusent,

et, peut-être même, pouvons-nous envisager que, dans la suite, ces études apporteront une contribution intéressante pour la solution à donner à l'énigme éternelle posée devant nous par la célèbre maxime antique, qui résume tous les travaux et les recherches de la philosophie humaine : *Connais-toi toi-même.*

Je prie M. Lahy de vouloir bien nous remettre le texte de sa conférence si intéressante; il sera examiné par un de nos comités en vue de son insertion dans notre *Bulletin.*

La séance est levée à 18 h. 20 m.

LISTE DES NOUVEAUX MEMBRES

ADMIS PENDANT L'ANNÉE 1921

A FAIRE PARTIE DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

ARCAY (Georges-Pierre), chef du Laboratoire de Chronométrie à la Faculté des Sciences de Besançon, 7, rue Chifflet, Besançon (Doubs).

ASSOCIATION DES INGÉNIEURS POLONAIS A PARIS, 3 *bis*, rue La-Bruyère, Paris (9e).

BEAUFILS (Fernand), Ingénieur des Arts et Métiers, ingénieur-architecte, 30, boulevard Gambetta, Saint-Quentin (Aisne).

BIBLIOTHÈQUE DU CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS, 292, rue Saint-Martin, Paris (3e).

BIBLIOTHÈQUE DE LA FACULTÉ DE PHARMACIE DE PARIS, 4, avenue de l'Observatoire, Paris (6e).

BIRLÉ (Ernest), Ingénieur des Arts et Manufactures, 105, rue de Prony, Paris (17e).

BLUMBACH (Féodor Ivanovitch), professeur de physique, chef de la Section métrologique de la Chambre centrale des Poids et Mesures de Russie, 19, perspective Zabalkansky, Pétrograd (Russie).

BORDET FRÈRES, industriels, Froidvent, par Voulaine (Côte-d'Or).

BOUDRY (Charles), Ingénieur-mécanicien E. P. Z., Oron-la-Ville, canton de Vaud (Suisse) (membre à vie).

BREGUET (Louis) (O. ✻), ingénieur, représentant la Société anonyme des ateliers d'aviation Louis Breguet, 115, rue de la Pompe, Paris (16e).

BRETON (Jules-Louis), sénateur, membre de l'Institut, directeur des Recherches scientifiques et industrielles et des Inventions, 81 *bis*, boulevard Soult, Paris (12e).

BRILLIÉ (Léon), Ingénieur-agronome, industriel (émailleur, 9 et 11, rue de Toul, Paris, 12e), 10, rue Étienne-Marcel prolongée, Paris (3e).

BRYLINSKI (Émile), président du Comité électrotechnique français, 5, avenue Teissonnière, Asnières (Seine), (membre à vie).

CHAGNAUD (Léon) (O. ✻), Ingénieur des Arts et Métiers (Châlons, 1881), lauréat de l'Institut, sénateur, président de la Société des Ingénieurs civils de France, 18, rue de l'Arcade, Paris (8e), (membre perpétuel).

CHAUMAT (Henri) (O. ✻), professeur au Conservatoire national des Arts et Métiers, 26, rue Ernest-Renan, Paris (15e).

CHOPIN (Marcel), Ingénieur-conseil de la Société d'Entreprise meunière, 31, rue du Bastion, Nancy (Meurthe-et-Moselle).

DELAVAL (Henry), Ingénieur des Arts et Manufactures, 8, rue de l'Éperon, Paris (6e).

DELERS (J.), secrétaire de l'Union syndicale des Techniciens de l'Industrie, du Commerce et de l'Agriculture (Station lyonnaise), 12, rue de Condé, Lyon (Rhône).

DREVET (C.-M.), ingénieur-constructeur, Carburateurs C. M. D., 3, boulevard Pommerol, Lyon-Villeurbanne (Rhône).

ÉCOLE NATIONALE D'ARTS ET MÉTIERS DE PARIS, 151, boulevard de l'Hôpital, Paris (13e).

ÉTABLISSEMENTS MAURICE-FALCK, Épuration des Eaux industrielles, 200, quai de Jemmapes, Paris (10e).

FABRIQUE PARISIENNE DE MÈCHES AMÉRICAINES ET D'OUTILLAGE DE PRÉCISION, 33, avenue Victor-Hugo, La Courneuve (Seine).

FAROUX (Charles-Ernest), ancien élève de l'Ecole Polytechnique, ingénieur, 48, rue de Chézy, Neuilly-sur-Seine (Seine).

FIEUX (Jules), 5, chemin de la Mulatière, Saint-Étienne (Loire).

FLAGEL (Jules), Ingénieur I. d. N., licencié ès sciences, 249, boulevard de Strasbourg, Billancourt (Seine).

FLUSIN (Georges) (✲), professeur d'électro-chimie et d'électro-métallurgie à la Faculté des Sciences, Université de Grenoble (Isère).

GÉNOT (André) (✲, ✠), ingénieur-chimiste, directeur de l'usine Matières plastiques et Vernis, 38 *bis*, rue des Messiers, Montreuil (Seine).

GERMAIN (Fernand), administrateur-délégué de la Société du Duralumin, 16, rue de Sèvres, Paris (7e).

GHOSH (P. N.), Master of Arts, docteur en philosophie, professeur de physique appliquée à l'Université de Calcutta (Indes britanniques), 17, rue Du-Sommerard, Paris (5e).

GIRARD (Maurice-Alfred), industriel, directeur du garage de la Côte d'Argent, 60, rue de Pessac, Bordeaux (Gironde).

GLOVER (Stanley-Alfred), agent d'importation, Box n° 634, G. P. O., Brisbane (Queensland-Australie).

GUILLAUME (Charles-Edouard), correspondant de l'Institut de France (prix Nobel), physicien, directeur du Bureau international des Poids et Mesures, Pavillon de Breteuil, Sèvres (Seine-et-Oise).

HAGUENAUER (Isidore), licencié ès sciences physiques et mathématiques, ingénieur-électricien, ingénieur-adjoint à la Compagnie des Chemins de fer de l'Est, 6, square Pétrelle, Paris (9e).

HERDNER (Henri-Albert), Ingénieur en chef honoraire du Matériel et de la Traction des Chemins de fer du Midi, 25, rue de la Faisanderie, Paris (16e).

ISHIMOTO (Keikichi), ingénieur-conseil de la Mitsui Bussan Kaisha, 59, Toyokawacho, Koishikawa-Ku, Tôkyô (Japon).

ISSAKOF (Léonide), secrétaire scientifique et métrologiste de la Chambre centrale des Poids et Mesures de Russie, 19, perspective Zabalkansky, Pétrograd (Russie).

LABORATOIRE DE PHYSIQUE DE L'UNIVERSITÉ DE SMYRNE, 77, passage Bakirgian, Smyrne (Asie Mineure).

LARIVIÈRE (Jean), 148, rue de Longchamp, Paris (16e).

LEFÈVRE (Paul), directeur de l'Office central de Documentation franco-belge, 14, rue Constance, Paris (18e).

LEROY (Louis) (✲), membre du Bureau des Longitudes (de la maison L. Leroy et Cie, horlogers de la Marine), 7, boulevard de la Madeleine, Paris (1er).

LERY (André-Jean), ancien élève de l'Ecole polytechnique, rédacteur en chef de *La Machine moderne*, 121, rue La-Fayette, Paris (10e).

LESPINASSE (Claudius), chaudronnerie, à Irigny (Rhône).
LEVESQUE (Léon), fabricant de thermomètres et d'ébullioscopes, 5 *bis*, rue des Haudriettes, Paris (3e).
LÉVY (Henri), fabricant d'horlogerie *La Précision automatique L. F.*, 25, rue Gambetta, Besançon (Doubs).
L'HOIR (Georges), ingénieur, 63, rue de la Cathédrale, Liége (Belgique).
MADELINE (Jules-Auguste) (O. ✻), administrateur de sociétés, 35, rue du Faubourg-Poissonnière, Paris (9e).
MAHIEU (Paul), fabricant de spécialités industrielles et fondeur d'aluminium, 41 et 43, rue d'Hautpoul, Paris (19e).
MASSIP (Georges-Alexandre), ancien Ingénieur militaire des Poudres, ingénieur-constructeur d'appareils de contrôle et accessoires pour la vapeur, 58, rue Danton, Levallois-Perret (Seine).
MAUCLÈRE (Pierre), Ingénieur des Arts et Manufactures, administrateur-délégué de la Société de Manipulation des Liquides, 141, rue de Rennes, Paris (6e).
MONTUPET (Léon), industriel (fonderies d'aluminium à Nogent-sur-Oise et à Nanterre), 11, boulevard Lannes, Paris (16e).
MOULIN (Marcel), modeleur-mécanicien, 7, passage de l'Eglise, Vanves (Seine).
NEYRET (André-Christian), industriel (textiles), 8, avenue Victor-Hugo, Paris (16e).
PARFAIT (Emile) (✻, ✠), Ingénieur des Arts et Métiers, 10, rue Poussin, Paris (16e).
PASSERAT (Hector), Ingénieur des Mines, fondeur, 6, rue de Fontenay, Nogent-sur-Marne (Seine).
PECHELBRONN, SOCIÉTÉ ANONYME D'EXPLOITATIONS MINIÈRES, 32, allée de la Robertsau, Strasbourg (Bas-Rhin), (membre perpétuel).
POËY D'AVANT (Albert) (✻), 30, rue Alexandre-Guilmant, Meudon (Seine-et-Oise).
PRUD'HON (Georges), Ingénieur des Arts et Métiers, 43, rue de la Vanne, Montrouge (Seine).
RAYMOND (Pierre-Claude-Lucien), directeur de la Société française d'Applications industrielles de l'Aluminium et des Matières plastiques, Thonon-les-Bains (Haute-Savoie).
REGNAULT (Baron Edouard), ancien élève de l'Ecole polytechnique, 40, boulevard du Roi, Versailles (Seine-et-Oise).
ROCHETTE FRÈRES, électrométallurgistes, 87, rue Saint-Lazare, Paris (9e).
ROUSSEAU (Auguste-Emile), Ingénieur I. D. N., licencié en droit, directeur général de *La Machine moderne*, 17, rue du Vieux-Colombier, Paris (6e).
ROYER (Paul-Abel Gabriel), Ingénieur des Arts et Manufactures, administrateur de sociétés, 13, avenue de l'Observatoire, Paris (6e).
SÉJOURNET (Jules-Marie-Clément), administrateur-délégué de la Société d'Appareillage et Forges de Villers-Cotterets, 26, rue Cadet, Paris (9e).
SOCIÉTÉ D'ÉCLAIRAGE, CHAUFFAGE ET FORCE MOTRICE, 22, rue de Calais, Paris (9e).
SOCIÉTÉ ANONYME DES HAUTS FOURNEAUX, FORGES ET ACIÉRIES DU SAUT-DU-TARN, 23, rue du Rocher, Paris (8e).
UNION CHRÉTIENNE DE JEUNES GENS DE PARIS, 14, rue de Trévise, Paris (9e).
UNION DE CONSOMMATEURS DE PRODUITS MÉTALLURGIQUES ET INDUSTRIELS (U.C.P.M.I.), 31, avenue Montaigne, Paris (8e).
VAGNÉ (Marcel), organisateur de comptabilités, 29, rue La-Rochefoucauld Paris (9e).

TABLE ALPHABÉTIQUE

DES

NOMS DES AUTEURS MENTIONNÉS

DANS LA CENT VINGTIÈME ANNÉE DU BULLETIN

(JANVIER-DÉCEMBRE 1921)

Tome 133

Les nombres en chiffres romains indiquent le ou les mois du cahier. Le nombre en chiffres arabes qui les suit indique la page.

C

D

E

F

G

H

J

M

N

O

P

T

U

V

W

Z

TABLE ALPHABÉTIQUE ET ANALYTIQUE
DES MATIÈRES

CONTENUES DANS LA CENT-VINGTIÈME ANNÉE DU BULLETIN

(JANVIER-DÉCEMBRE 1921)

Tome 133

Les nombres en chiffres romains indiquent le ou les mois du cahier. Le nombre en chiffres arabes qui les suit indique la page.

B

BIBLIOGRAPHIE

C

D

E

F

M

N

P

Q

R

S

T

V

L'agent général, gérant,
E. LEMAIRE.

Coulommiers. — Imp. PAUL BRODARD.

120e ANNÉE | DÉCEMBRE 1921 | N° 10 — TOME 133

TÉLÉPH. : Saxe-29-75

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT
POUR
L'INDUSTRIE NATIONALE

PUBLIÉ
SOUS LA DIRECTION DES SECRÉTAIRES DE LA SOCIÉTÉ
MM. HITIER ET TOULON

SOMMAIRE

SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ
44, RUE DE RENNES, PARIS (6e).

Ce bulletin paraît dix fois par an.

AUTRES PUBLICATIONS
DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

En vente : aux Bureaux de la Société d'Encouragement, *44, rue de Rennes, Paris (6e) et à la Librairie* Dunod, *47 et 49, quai des Grands-Augustins, Paris (6e).*

Contribution à l'étude de la fragilité dans les fers et les aciers (1904), 3 pl., 480 p., 182 fig. . . **30** fr. »

Contribution à l'étude des argiles et de la céramique (1906), 626 p., 297 fig. . . . . **40** fr. »

Étude expérimentale du rivetage (1906), par Ch. Fremont, 145 p., 184 fig. . . . . **10** fr. »

Essais du cuir dans ses applications industrielles (1907), par Boulanger, 503 p., 288 fig., 8 pl. . **25** fr. »

Filetages unifiés suivant le système international, tableau de 45 cm. × 56 cm. . . . . **1** fr. »

L'amélioration des espèces végétales de grande culture, par Schribaux (1908), 46 p., 24 fig. . . . **3** fr. »

Le syndicat des houilles d'Essen et l'organisation de la production, par E. Fuster (1910), 268 p., 20 tabl. et 1 carte en couleurs hors texte. . . . . **12** fr. »

Origine et évolution des outils, par Ch. Fremont (1913), 157 p., 322 fig. . . . . **8** fr. »

Études de transformations des alliages sous l'influence de la chaleur visibles au microscope, par F. Robin (1913), 92 p., 70 fig. . . . . **4** fr. »

L'examen microscopique de la peau et du cuir appliqué à l'étude des taches de sel, par G. Abt (1913), 23 p., 7 fig., 2 pl. hors texte en couleurs . . . . **3** fr. »

La porcelaine tendre artificielle ou à fritte, par A. Granger (1913), 55 p., 18 fig. . . . . **3** fr. »

La désinfection des peaux charbonneuses, par G. Abt (1913), 44 p. . . . . **3** fr. »

Le système Taylor (deux mémoires), par H. Le Chatelier et de Fréminville (1914), 54 p., 9 fig. . **3** fr. »

La production des plants de pommes de terre de semence assurée par l'Agriculture française, par H. Hitier (1915), 21 p. . . . . **4** fr. »

La construction électrique assurée par l'Industrie française, par Hillairet (1915), 14 p. . . . . . **3** fr. »

La lime, par Ch. Fremont (1916), 153 p., 282 fig. . . . . **20** fr. »

Balancier à vis, par Ch. Fremont (1916), 36 p., 46 fig. . . . . **3** fr. »

Origine et évolution de la soufflerie, par Ch. Fremont (1917), 98 p., 162 fig. . . . . **5** fr. »

Contribution à l'étude de l'essorage et du pilage du coton-poudre, par Jupeau (1919), 23 p., 3 fig. **3** fr. 50

Les ressources de nos forêts coloniales, par H. Boutteville, et **Notice officielle sur les bois coloniaux de la Côte d'Ivoire et du Gabon** (1919), 43 p. **6** fr. »

Application des nouvelles méthodes d'organisation du travail industriel dans cinq usines de guerre françaises (Conférences de MM. Compagnon, Lavallée, Nusbaumer, Lecler, Charpy; discours de MM. Millerand, Loucheur, H. Le Chatelier, Lindet) [1919], 216 p., 110 fig . . . . **30** fr. »

Contribution à l'étude de la synthèse directe de l'ammoniac par catalyse sous pression, par MM. Guichard, Vavon, Cornec, Cantagrel, Stevenson, Apard et Bourdiol (1920), 32 p., 22 fig. **6** fr. »

Les gisements de pétrole d'Alsace, par P. de Chambrier (1920), 26 p., 9 fig. et 1 carte. . . . . . . **6** fr. »

L'organisation de la documentation technique et industrielle en France (Bureau bibliographique de Paris, etc.) (1920), 21 p. . . . . **3** fr. »

Numéro commémoratif du centenaire de l'invention, par Thomas de Colmar, **de la première machine à calculer industrielle** (sept.-octobre 1920), 216 p., 51 fig. et 5 pl. hors texte. . . . . **30** fr. »

La destruction systématique par les Allemands des usines métallurgiques du Nord et de l'Est de la France pendant l'occupation militaire (1914-1918), par M. L. Baclé (1920), 102 p., 100 fig. **5** fr. »

L'industrie des laques d'Extrême-Orient en France, par M. P. Verneuil (1921), 14 p., 8 fig. . . . . **2** fr. »

L'évolution de l'aéronautique pendant la guerre 1914-1918, par le Lieutenant-Colonel P. Renard (1921), 32 p., 9 fig. . . . . **4** fr. »

Propriétés et nouvelles applications industrielles de l'aluminium, du magnésium, du calcium et du sodium (*Bulletin de* juillet-août-septembre 1921), 362 p., 204 fig., 3 pl. hors texte . . . . . . **45** fr. »

Le magnésium, le calcium et le sodium, par M. G. Flusin (1921), 28 p., 1 fig . . . . **3** fr. »

Degrés densimétriques, définitions et étude des méthodes de mesure, par MM. Bordas et Touplain (1921), p. 23, 2 fig. . . . . **2** fr. »

Les appareils modernes destinés au contrôle de la combustion et de la vaporisation, par M. Lucien Maugé (1921), 85 p., 85 fig . . . . **8** fr. »

Consulter nos derniers catalogues à la Bibliothèque de la Société d'Encouragement.

MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT

Les membres de la Société sont :

1° Membres perpétuels. — Ils reçoivent le Bulletin de la Société à perpétuité. — Leur cotisation est de 1 000 francs une fois payés;

2° Membres a vie. — Ils reçoivent, pendant leur vie, le Bulletin de la Société. — Leur cotisation est de 500 francs une fois payés;

3° Membres ordinaires. — Ils payent une cotisation annuelle de 36 francs, et reçoivent également le Bulletin de la Société.

BUREAU BIBLIOGRAPHIQUE

Le Bureau bibliographique de Paris, section française de l'Institut international de Bibliographie, a son siège dans l'hôtel de la Société d'Encouragement, au rez-de-chaussée; il tient à jour un double du Répertoire bibliographique universel sur fiches, établi en prenant pour base la classification décimale universelle et dont le prototype est déposé à Bruxelles; il borne, toutefois, en principe, son travail aux parties du répertoire concernant les divisions des sciences pures appliquées (divisions 5, 6 et 7 de la classification décimale universelle).

Le Bureau est ouvert, chaque jour non férié, de 14 h. à 18 h. et tous les documents qu'il possède peuvent être communiqués aux membres de la Société d'Encouragement sur demande adressée au secrétaire-agent.

BIBLIOTHÈQUE DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT

La Bibliothèque de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale est une des plus riches de France en ouvrages et périodiques (en toutes langues) techniques ou de science industrielle. Elle est située 44, rue de Rennes (6e). Elle est ouverte tous les jours non fériés, de 14 h. à 19 h., aux membres de la Société ainsi qu'aux personnes qu'ils recommandent par écrit ou à celles qui sont munies d'autorisations délivrées au Secrétariat de la Société. La Bibliothèque est fermée pendant le mois d'août.

Consulter nos derniers catalogues à la Bibliothèque de la Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale.

Mentionner le Bulletin de la Société d'Encouragement en écrivant aux annonceurs.

Concours de la Société d'Encouragement

pour un appareil destiné à déterminer le point d'inflammabilité des liquides

La Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale décernera un prix de 1.000 francs à l'auteur du meilleur appareil répondant aux conditions du programme ci-dessous :

Programme. — Les différentes réglementations françaises, concernant la détermination du point d'inflammabilité des liquides et des préparations inflammables, exigent l'usage de deux appareils : l'appareil Luchaire, récemment imposé, et celui de Granier, visé au tarif douanier.

Lorsque la revision de ce tarif sera demandée, il faudra tenir compte, pour l'adoption de l'appareil à prescrire, de l'ensemble des progrès réalisés tant en France qu'à l'étranger, et du degré de précision qu'ils permettent d'atteindre.

Aucune raison n'autorise à recourir aux appareils à vase ouvert plutôt qu'à ceux à vase fermé : les inventeurs auront toute liberté en cette matière.

Le but à atteindre est d'obtenir un degré de précision au moins aussi grand que celui que donnent les meilleurs appareils en usage.

Il y aurait intérêt à réaliser un appareil unique permettant d'effectuer toutes les déterminations légales, c'est-à-dire pouvant mesurer les points d'inflammabilité compris au moins entre 30° et 140°; il est désirable d'étendre son champ d'application jusqu'à 350° ou 400° (températures qui intéressent certains usages industriels).

L'instrument proposé ne devra pas exiger, d'une façon absolue, l'emploi de l'électricité que l'on ne trouve pas encore pratiquement partout.

Enfin, la simplicité de l'appareil, qui aura sa répercussion sur le prix de vente et peut-être aussi sur les facilités de la manipulation, sera la dernière condition dont il devra être tenu compte.

Le concours sera clos le 31 décembre 1921.

PERSONNES AYANT SUBVENTIONNÉ BÉNÉVOLEMENT LE BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE EN 1919, 1920 ET 1921 SANS SOUSCRIRE D'ANNONCE

6 Anonymes.
M. BARDEAU.
M. MENVIELLE (1er verst).
M. COHEN.
M. LIVACHE.
M. de PRÉAUDEAU.
M. VISSEAUX.
MM. GHESQUIÈRE et GIRETTE.
M. L. DURÛ (1er verst).
MM. GIROS et Cie.
M. BARRAL (1er verst).
M. NUSBAUMER (1er verst).
M. SAUVAGE (1er verst).
M. PARRA-NUMA.
M. FOURET.
M. BARTHÉLEMY (Louis).
MM. Louis et Auguste LUMIÈRE (1er verst).
M. PRUD'HOMME.
M. LÉTRANGE.
M. SIMON (Alexandre).
M. BOURDEL.
La Compagnie de Châtillon, Commentry et Neuves-Maisons.
M. ARNOULD.
M. VALLOT.
M. F. ROY.
M. SOLVAY.
La Société française de Constructions mécaniques.
M. PAGÈS (1er verst).
M. ESTÈVE.
M. HUILLARD.
M. ROFFO.
La Société anonyme "l'Air liquide".
M. SCHLŒSING.
MM. SIMON Frères.
M. C. VIELLARD.
M. DURIEUX.
M. TANCRÈDE.
M. A. BARTHÉLEMY.
M. P. de CHAMBRIER.
M. HATON de la GOUPILLIÈRE.
M. V. BERNARD.
MM. GILLET et Fils.
M. A. SCHEURER.
M. L. DURÛ (2e verst).
M. ROCHET-SCHNEIDER.
La Société de Mokta-el-Hadid (M. de NERVO).
MM. A. et L. LUMIÈRE (2e versement).
La Société centrale de Dynamite.
M. FOURNEAU.
La Société de Djebel Djerissa (M. de NERVO).
M. LORILLEUX (1er verst).
M. SAUVAGE (2e verst).
M. Paul LECLER.
La Chambre syndicale de la Grande Industrie chimique.
M. LARIVIÈRE.
M. V. da SILVA FREIRE.
M. ALBY.
M. QUENELLE (1er verst).
M. NUSBAUMER (2e verst).
M. PAGÈS (2e verst).
M. Pierre ARBEL.
M. LŒBNITZ.
M. HILLAIRET.
M. DROUET.
M. MENVIELLE (2e verst).
M. Ch. LORILLEUX et Cie (2e verst).
MM. A. et L. LUMIÈRE (3e verst).
M. BARRAL (2e verst).
M. NUSBAUMER (3e verst).
M. MENVIELLE (3e verst).
M. QUENELLE (2e verst).

LA PUBLICITÉ DANS LE BULLETIN

DE LA

Société d'Encouragement pour l'Industrie nationale

EST

EXCLUSIVEMENT RÉSERVÉE A SES MEMBRES

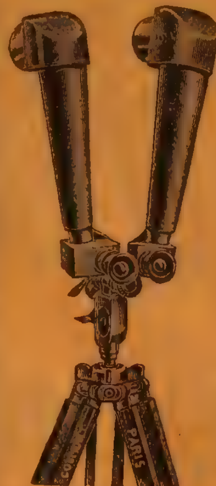
ET

FAITE DIRECTEMENT PAR SES SOINS

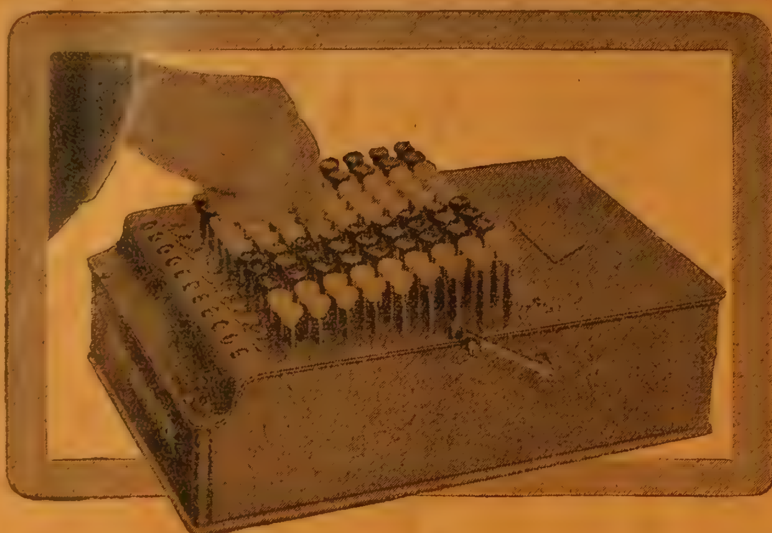
S'adresser au Secrétariat de la Société : ☆ ☆ ☆ ☆ ☆ ☆ ☆
☆ ☆ ☆ ☆ ☆ ☆ ☆ ☆ ☆ ☆ 44, Rue de Rennes, PARIS (6e)
TÉLÉPHONE : SAXE 29-75

Mentionner le Bulletin de la Société d'Encouragement en écrivant aux annonceurs.

Consulter nos derniers catalogues à la Bibliothèque de la Société d'Encouragement.



Consulter nos derniers catalogues
à la Bibliothèque de la Société d'Encouragement.



Consulter nos derniers catalogues à la Bibliothèque de la Société d'Encouragement.

MEMBRES de la SOCIÉTÉ d'ENCOURAGEMENT

POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

Ayant subventionné bénévolement

SON BULLETIN EN 1921

sans y souscrire d'annonce

MM. Ch. LORILLEUX et Cie (1000 fr.) (2e verst).

MM. Auguste et Louis LUMIÈRE (1000 fr.)

(MM. Lumière ont déjà effectué 2 versements semblables, en 1919 et 1920)

M. BARRAL (2e verst.)

M. NUSBAUMER (3e verst.)

M. MENVIELLE (3e verst.)

M. QUENELLE (2e verst.)

LISTE DES TIRAGES A PART

DES CONFÉRENCES ET TRAVAUX PARUS DANS LE BULLETIN PENDANT LA GUERRE

En vente : aux BUREAUX DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT, *44, rue de Rennes, Paris (6e) et à la Librairie* DUNOD, *47 et 49, quai des Grands-Augustins, Paris (6e).*

AGRICULTURE, ÉLEVAGE, SYLVICULTURE, VITICULTURE. — GERVAIS : Les lendemains de la guerre et la viticulture. — SCHRIBAUX : La production des graines de betteraves assurée par l'industrie française. — VACHER : La reconstitution du cheptel français après la guerre.

CÉRAMIQUE, VERRERIE. — APPERT : Le soudage des verres. — GRANGER : Les montres fusibles; les cônes de Seger. — LINDET : Exposition du matériel de laboratoire de fabrication française.

COLONIES. — BERNARD : Les ressources économiques du Maroc. — BRENIER : Les ressources de l'Indochine et leur mise en valeur après la guerre. — BOURDARIE : Les ressources cotonnières de nos colonies. — CHAILLEY : La France de demain et ses colonies. — DYBOWSKI : L'Afrique occidentale française. — ROUME : La question des colonies allemandes. — YOU : Madagascar.

ÉCONOMIE INDUSTRIELLE, LÉGISLATION, PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE. — BUFFET : La Lorraine économique. — DE ROUSIERS : Les conditions d'une reprise industrielle. — HAUSER : La politique d'exportation des cartels allemands. — HITIER (J.) : La protection des appellations d'origine en matière de produits agricoles. — LEGOUËZES : Les marques syndicales. — LÉVY (Raphaël-Georges) : La reprise des affaires financières. — LORIN (H.) : L'Amérique latine et la France. — RENARD et TOULON : Modifications à apporter à la loi de 1844 sur les brevets d'invention. — VILLAIN : La tâche sociale de l'industriel.

ENSEIGNEMENT TECHNIQUE, RÉÉDUCATION DES MUTILÉS. — AMAR : La rééducation des mutilés. — BORNE : La rééducation et la réadaptation des mutilés au travail. — COMMISSION DU RETOUR AUX ÉTUDES TECHNIQUES : Programmes de physique, de mathématiques, de mécanique rationnelle, de résistance des matériaux, de thermo-dynamique. — GRIGAUT : La formation économique et sociale dans les cours et les écoles d'enseignement professionnel. — G. HERSENT : La réforme de l'éducation nationale. — JULLY : Les répercussions des méthodes modernes de travail sur l'utilisation et la formation du personnel ouvrier. E. TISSERAND : L'enseignement agricole.

INDUSTRIES ALIMENTAIRES. — TEISSET : La construction de nos moulins assurée par l'industrie française.

INDUSTRIES CHIMIQUES ET PHARMACEUTIQUES. — DUCHEMIN : L'emploi et le régime de l'alcool dans les industries chimiques et pharmaceutiques. — LINDET : L'exposition des produits chimiques d'origine française. — LIVACHE : Ressources françaises en pigments blancs employés en peinture.

INDUSTRIES ÉLECTRIQUES. — FÉRY : Le fonctionnement chimique de l'accumulateur au plomb. — SABOURET : Électrification partielle d'un réseau de chemins de fer. — ZETTER : Projet d'unification des filetages des culots et supports de lampes à vis Edison.

INDUSTRIES MÉCANIQUES. — COMMISSION DES FILETAGES : Données concernant les filetages à dimensions métriques. Adoption du système international et ses extensions aux petites vis. Série normale des diamètres, des pas et des ouvertures de clefs. Unification des filetages sur tubes; des filetages des instruments d'optique. Adoption du système international par le Service de l'Artillerie; — Règles d'établissement des boulons, goujons et vis par les services de la Compagnie des Chemins de fer du Nord. Adoption du système international par l'Administration des Postes, Télégraphes et Téléphones.

JOUETS, BIJOUTERIE. — D'ALLEMAGNE : La fabrication des jouets assurée par l'industrie française. — D'ALLEMAGNE : L'œuvre des mutilés, le « Jouet de France ».

LIBRAIRIE. — BELIN (Jean-Paul) : La librairie française et la concurrence étrangère.

ORGANISATION INDUSTRIELLE. — FAYOL : La formation administrative dans le gouvernement des affaires. — OTLET : L'information et la documentation au service de l'industrie.

PHOTOGRAPHIE. — WALLON : La fabrication des fournitures photographiques assurée par l'industrie française.

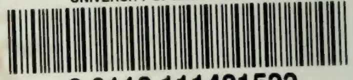
TRAVAUX PUBLICS, TRANSPORTS. — BERTIN : La marine de commerce. — DE ROUSIERS : Réorganisation de nos ports de commerce. — ESPITALLIER : Le régime des canaux et voies fluviales en France. — LÉVY-LAMBERT : Les transports par câbles aériens. — MOUTIER : Le tunnel sous-marin entre la France et l'Angleterre. — TOULON : Les travaux publics après la guerre.

Prix de chaque tirage à part : 3 francs, sauf :

Les tirages à part de la Commission des Filetages, réunis, 15 francs.

Exposition du matériel de laboratoire de fabrication française (1916), par M. LINDET ; prix : 5 francs.

Exposition du matériel de laboratoire de fabrication française et des produits chimiques d'origine française (1917), par M. LINDET; prix : 5 francs.


UNIVERSITY OF ILLINOIS-URBANA
3 0112 111421522